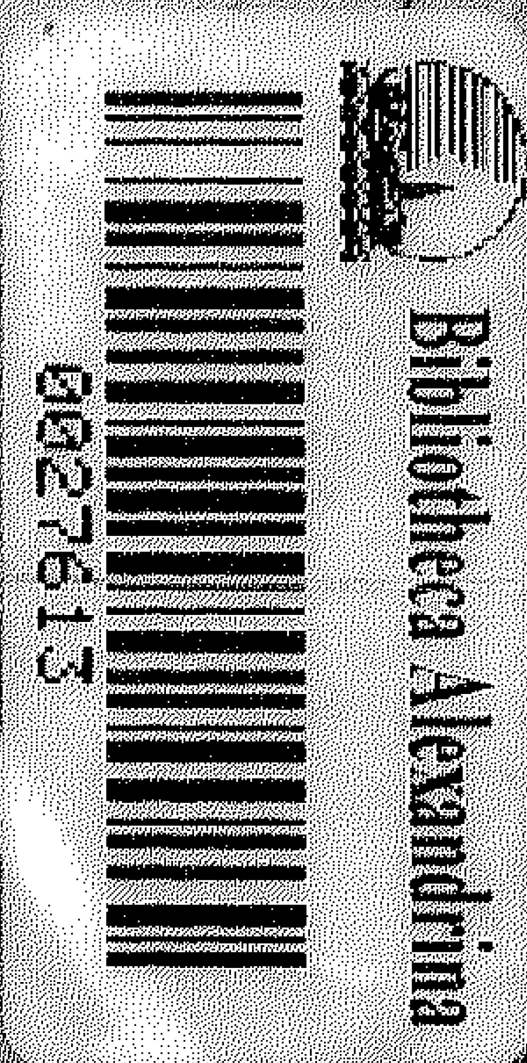
وتطبيقاتها في

TOPOGRAPHIC SURVEYING

AND ITS APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING



المساحة الطبوغرافية

وتطبيقاتها في الهندسة المدنية

دكتور / علي سالم شكري

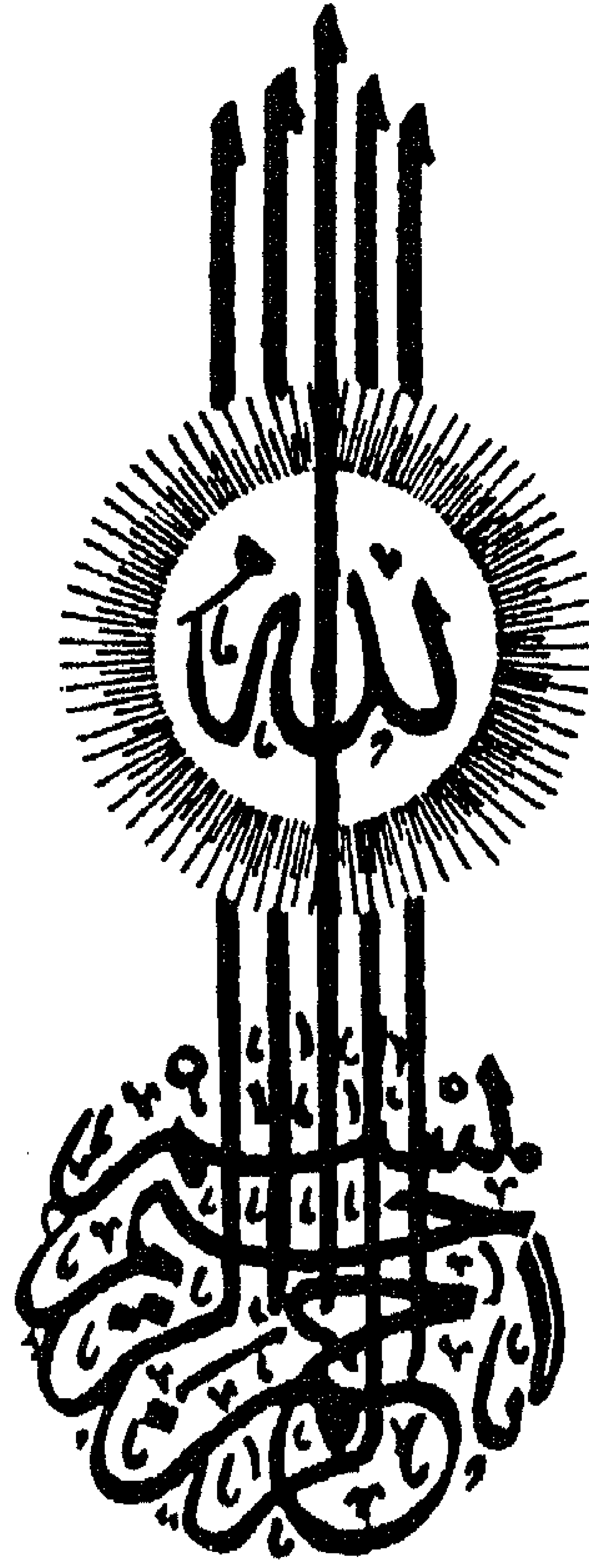
دكتور / محمود حسني عبد الرحيم

دكتور / محمد رشاد الدين مصطفي

١٩٩١

الناشر منشأة المعارف بالاسكندرية

جلال حزى وشركاه



« يسبّح لله ما فى السموات وما فى الأرض ، له الملك
وله الحمد وهو على كل شىء قدير » (١)

صدق الله العظيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمـــة

نحمد الله رب العالمين الذى هدانا وأمدنا بقوته لنقدم إلى مصرنا الحبيبة وإلى العالم العربى المؤلف الثالث من هذه الموسوعة الكبيرة الشاملة فى فن المساحة والجيوديسيا إلى تحوى خمسة من المؤلفات عسى أن يستفيد بها كل من يعمل فى الحقل والمجال الهندسى .

ولقد شملت هذه الموسوعة من المؤلفات تكمل كل منها الأخرى أفاقاً واسعة فى يسر وسهولة نزعت عنها الحواشى لتكون علمية عملية مباشرة بكل ما تحمل من معانى وتسهم إلى النواحى التطبيقية دائماً . ولقد روعى فى هذه الطبعة لعلها الخامسة عشر أن تكون فى ثوب قشيب جديد يختلف عن سالف الطبعات مع حذف كل ما أصبح غير ذى موضوع أو قديم وإضافة كل ما هو جديد وحديث ويتمشى مع التكنولوجيا الحالية .

ولقد قسم هذا المؤلف إلى عدة أقسام فى ترتيب منطقى ينساب به فكر الطالب أو المهندس من قسم إلى آخر ، وخطوة بعد أخرى متدرجاً فى مواضيعه متفهماً لها بتطبيقاته مستوعباً لها بأمثلتها ومسائلها التى تقابلنا فى حياتنا العملية ولقد غطى هذا المؤلف عديد من الموضوعات الهامة جداً كالتيودوليت الحديث ومضلعاته المختلفة والمساحة التاكيومترية والمنحنيات بجميع أنواعها وتطبيقاتها فضلاً عن التطبيقات الدقيقة فى الهندسة المدنية كالأنفاق وحساب تحركات المنشآت ورأسيتها وخلافه .

ومن الناحية الشمولية فإن هذه الموسوعة تقع فيما يزيد عن ثلاثة آلاف وخمسمائـة صفحة ومئات من المسائل والأمثلة . وقد بذل المؤلفون خاصة فى هذه الطبعة كل الجهد لأخراجها لتقدم خبرات وعلم أجيال ثلاثة بين الشباب والشيوخ . بأمانة تامة ، ونرجو من أعماق قلوبنا أن ترضى الله ورسوله ، ونقدم ، وخير ما يقدم الأنسان ، علم ينتفع به ويستفيد منه أبناؤها الذين هم أمل المستقبل ولنسهم ببعض ما يجب علينا من دين لوطننا العزيز .

ويشكر المؤلفون الأستاذ جلال حزى مدير وصاحب منشأة المعارف وإدارتها على تقديم أكبر وكل معونة مما ساعد على أخراج هذه الموسوعة فى أحسن ثوب ومظهر .

« ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا وهب لنا من لدنك رحمة ، أنك أنت الوهاب » .

صدق الله العظيم

المؤلفون

على شكرى　　　　محمود حسنى　　　　محمد رشاد الدين مصطفى

فبراير ١٩٩١

القسم الأول

التيودوليت الحديث

The Modern Theodolite

الباب الأول
التيودوليت الحديث

تقديم :

يعتبر جهاز التيودوليت أدق الأجهزة المستخدمة فى رصد الأتجاهات وقياس الزوايا فى المستويات الأفقية والرأسية وذلك فى جميع فروع المساحة والجيوديسيا ، كذلك يستخدم التيودوليت فى عمليات التوقيع الدقيق للمحاور المستقيمة والمنحنية وفى جميع أعمال التخطيط الهندسى للمشروعات .

وأجهزة التيودوليت المستخدمة تقسم من حيث طريقة رصد القراءة على الدائرة الأفقية أو الرأسية إلى نوعين هما :

١ ـــ التيودوليت ذو الورنية .
٢ ـــ التيودوليت الحديث .

كما تقسم أجهزة التيودوليت من حيث أسلوب وطريقة القياس به إلى نوعين أيضاً هما :

١ ـــ تيودوليت الأتجاه .
٢ ـــ تيودوليت التكرار .

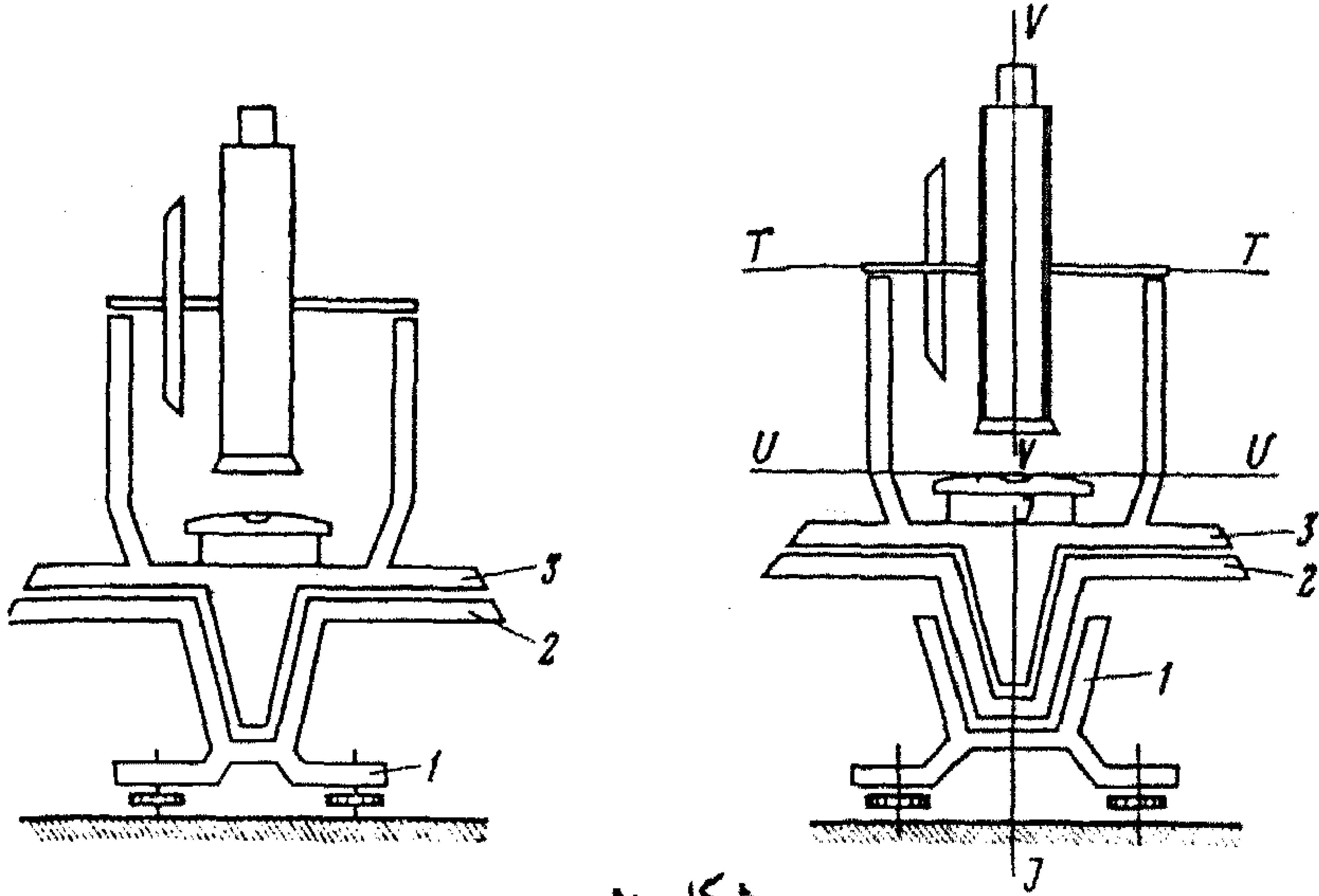
تيودوليت الأتجاه : (Direction Theodolite)

وهو مصمم بحيث أن الدائرة الأفقية فيه لا تتحرك بل تظل ثابتة عند رصد الزوايا المختلفة ، ولها محور رأسى واحد ، ويمكن تحديد أى قراءة نريدها على القرص الأفقى بإدارة مسمار خاص .

تيودوليت التكرار : (Repeating Theodolite)

وهو مصمم بحيث يمكن به قياس أى زاوية ، وتكرار قياس هذه الزاوية

بحيث يظهر مجموع هذا التكرار بقيمة الزاوية على الدائرة الأفقية ، وهذا النوع له محوران رأسيان يمكن تحريك كل منهما على حدة . ومعظم هذا النوع من التيودوليت ذى الورنية . ولا يمكن استعمال تيودوليت الأتجاه فى قياس الزوايا بطريقة التكرار . وشكل (١) يبين رسم توضيحى للأختلاف بين النوعين .



شكل (١)

تيودوليت تكرار

١ ـ قاعدة الجهاز (منفصلة) .
٢ ـ الدائرة الأفقية .
٣ ـ حامل الأليداد وبه ورنيات الدائرة الأفقية .
J - J المحور الرأسى الرئيسى للتيودوليت .

تيودوليت اتجاه

١ ـ قاعدة الجهاز ومثبت عليها (٢) .
٢ ـ الدائرة الأفقية .
٣ ـ حامل الأليداد وبه ورنيات الدائرة الأفقية

ولقد تناولنا فى المؤلف الأول من هذه المجموعة المساحية جميع ما يتعلق بالتيودوليت ذى الورنية من حيث تركيبه وطريقة القراءة للدائرة الأفقية والرأسية وطرق الرصد به ، واستخدامه فى قياس الزوايا الأفقية والرأسية ، وإجراء عمليات الرفع والتوقيع به .

أما فى هذا المؤلف فسنتناول فيه جميع ما يتعلق بالتيودوليت الحديث .

التيودوليت الحديث :

لقد أدخلت على أجهزة التيودوليت فى السنوات الأخيرة تحسينات هامة ، سواء فى التصميمات والصناعة ، أو وسائل قراءة الأرصاد أو المواد التى تصنع منها هذه الأجهزة وكذلك فى حجمها ، بحيث أصبحت مغايرة تماماً للتيودوليت ذى الورنية فأطلق عليها التيودوليتات الحديثة .

وأهم أنواع التيودوليت الحديث هو ما يطلق عليه (التيودوليت البصرى أو الميكروبتك) (Optical Theodolite or Microptic) والذى يتم فيه قراءة الدائرة الأفقية والرأسية مباشرة بطرق بصرية .

وأول من فكر فى إدخال هذه التحسينات الجوهرية على نطاق واسع فى التيودوليت هو الأستاذ العالمى (Henrich Wild) عام ١٩٢١ .

وحالياً توجد تيودولتيات يتم الحصول على القراءة لها مباشرة بطرق الكترونية بحيث تظهر مباشرة على شاشة خاصة. ويطلق عليها (التيودوليتات الرقمية) (Digital Theodolite) .

ويستعمل التيودوليت الحديث فى قياس الزوايا فى المساحة الجيوديسية وفى أعمال التوقيعات ، وكثير من الأعمال الهامة التى تعتمد على قياس وتوقيع الزوايا .

ويمكن تقسيم التيودوليتات الحديثة من حيث الدقة إلى ثلاث مجموعات :

١ ـــ تيودوليتات ذات دقة عالية :

وهى التى تستخدم فى الأرصاد الفلكية وفى رصد زوايا شبكات المثلثات من الدرجة الأولى والثانية .

٢ ـــ تيودوليتات دقيقة :

وهى تستخدم فى رصد زوايا شبكات مثلثات الدرجتين الثالثة والرابعة ، وفى الأعمال الهندسية التى تتطلب دقة كبيرة .

٣ ـ تيودوليتات متوسطة وعادية الدقة :

وهى التى تستخدم فى أعمال الترافرسات فى المدن وفى الأعمال التطبيقية فى الهندسة المدنية .

جدول (١)

أولاً : تيودوليتات عالية الدقة :

اسم التيودوليت	صناعة	قطر الحافة (م)		قوة التكبير للمنظار*	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية/ الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية /الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
T4 Wild	فيلد ـ سويسرا	٢٤٠	١٣٥	٧٠	٥٠,٠	٢	٠,١٠´/٠,٢٠´
DKM3 Kern	كيرن ـ سويسرا	١٠٠	١٠٠	٤٥	١٢,٢	١٠	٠,٥٠´
Microptic 3	اوتيس ـ انجلترا	٩٨	٧٦	٤٠	٨,٠	١٠	٠,٢٠´
Tpr	اسكانيافيرك ـ برلين	٢٠٠	١٤٠	٨٠	٣٢,٠	١٠	٠,٥٠´
T 3	الأتحاد السوفيتى	١٣٥	٩٠	٤٠	١١,٠	٤ /٨	٠,٢٠´
ثانياً : تيودوليتات دقيقة :							
T2 Wild	فيلد ـ سويسرا	٩٠	٧٠	٢٨	٥,٥	٢٠	١´
DKM2 Kern	كيرن ـ سويسرا	٧٥	٧٠	٣٠	٣,٦	١٠	١´
Theo 010	زايس يينا ـ ألمانيا	٨٤	٦٠	٣١	٥,٣	٢٠	١´
Th 2	زايس ألمانيا	٩٠	٧٠	٣٠	٥,٥	٢٠	١´
FT 2	فينيل ـ ألمانيا	٩٠	٧٠	٣٠	٦,٥	١٠	١´
Te-B1 MOM	موم ـ المجر	٩١	٦٠	٣٠	٥,٥	٢٠	١´
T 2	الأتحاد السوفيتى	٩٠	٦٥	٢٥	٥,٢	٢٠	١´
Microptic 2	اوتيس ـ انجلترا	٩٨	٧٦	٢٨	٦,٣	١٠	١´
TG 1 B	ايطاليا	٩٠	٩٠	٢٩	٢,٥	١٠	١´
TM 1 A	سوكيشا ـ اليابان	٩٤	٨٠	٣٠	٦,٠	١٠	١´

تابع جدول (١)

ثالثاً : تيودوليتات متوسطة الدقة :

اسم التيودوليت	صناعة	قطر الحافة (م) الأفقية	قطر الحافة (م) الرأسية	قوة التكبير للمنظار *	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية	قراءة الميكرومتر
DKM-1 Kern	كيرن سويسرا	٥٠	٥٠	٢٠	١,٨	٢٠	١٠"
K1-RA Kern	كيرن سويسرا	٨٩	٧٠	٢٨	٤,٢	٠١	٢٠"
T1-A Wild	فيلد سويسرا	٧٣	٦٥	٢٧	٥,٠	٠١	٢٠"
Th 3	زايس ألمانيا	٧٨	٧٠	٢٥	٣,٥	٠١	٣٠"
Tt	اسكانيا فيركا برلين	٩٠	٧٠	٣٠	٤,٦	٠١	٢٠"
Te-E6 MOM	موم — المجر	٨٠	٤٠	٢٠	٢,٦	٢٠	١٠"
TT4	الأتحاد السوفيتي	٧٠	٥٥	٢٥	٣,٩	٢٠"	١٠"
Microptic 1	أوتيس — انجلترا	٨٩	٦٤	٢٥	٤,٥		٢٠"
41994	ايطاليا	٩٠	٩٠	٣٠	٤,٧		٣٠"
TM6	سوكيشا — اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٣		٦"
TM 10	سوكيشا اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٢	١٠	١٠"
TM 20	سوكيشا اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٠٠		٢٠"
T-205	فوجى — اليابان	٨٠	٧٠	٢٨	٤,٥	٠١	١٠"

رابعاً : تيودوليتات عادية الدقة :

اسم التيودوليت	صناعة	قطر الحافة (م) الأفقية	قطر الحافة (م) الرأسية	قوة التكبير للمنظار *	الوزن (كجم)	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية	قراءة الميكرومتر
Theo 020	زايس يينا المانيا	٩٦	٧٤	٢٥	٤,٣	٠١	١"
T 5	الأتحاد السوفيتى	٩٥	٧٠	٢٧	٣,٦	٠١	١"
Te-D2	موم — المجر	٨٤	٧٦	٢٥	٤,٨	٠١	١"
T 16	فيلد — سويسرا	٧٩	٧٩	٢٨	٤,٧	٠١	١
Th 4	اوبتون — المانيا	٩٨	٨٥	٣٠	٤,٣	٠١	١
4150-NE	ايطاليا	٩٠	٧٠	٣٠	٤,٩	٠١	١
T 60 D	سوكيشا اليابان	٩٥	٩٠	٣٠	٥,٢	٠١	١
Theo 120	زايس يينا — المانيا	٦٢	٦٢	١٦	٣,٤		١٠

وفى الوقت الحاضر توجد أنواع عديدة من التيودوليتات الحديثة من أنتاج دول عديدة . وفى الجدول رقم (١) مبين به أهم الأنواع والخصائص المختلفة للتيودوليتات الشائعة الاستعمال للمجموعات الثلاث فى الدقة .

وواضح من الجدول أن التيودوليتات عالية الدقة تتميز بما يلى :

١ ــ وجود منظار ذو قوة تكبير عالية حتى يمكن رصد الأهداف البعيدة بدقة .

٢ ــ قطر كل من الحافة الأفقية والرأسية كبير حتى يسهل تدريجه إلى عدد أكبر من الأقسام وبالدقة المطلوبة .

٣ ــ وزن هذه الأجهزة أثقل حتى تكون أكثر ثباتاً أثناء الرصد .

مزايا التيودوليت الحديث

أدخلت تعديلات كثيرة الغرض منها تبسيط عملية الرصد وسرعة أخذ القراءات وزيادة دقة الأجهزة مع سهولة إستعمالها . وأهم مزايا التيودوليت الحديث هى :

١ ــ الأجهزة الحديثة بوجه عام أجزائها المختلفة غير واضحة التمييز من خارج الجهاز ، أى مندمج فى بعضه ، وهذا يعطيه درجة عالية من الثبات ويجعله أصغر حجماً وأخف وزناً وأكثر إحكاماً ضد الأتربة والرطوبة والمؤثرات الخارجية .

٢ ــ عدسات التيودوليت الحديث (الشيئية والعينية والأضافية) مركبة من مجموعة من العدسات تؤدى مع بعضها عمل العدسة المفردة ولكن ليس لها عيوبها .

٣ ــ تصنع عدسات التيودوليت الحديث من مواد مختلفة من مركبات الزجاج بحيث لا تعترض الأشعة الضوئية أو تشتتها أو تغير إتجاه مسارها المار

بالمركز البصرى للعدسة ، كما تغطى أغلب هذه العدسات بمواد كيميائية خاصة تمنع إنعكاس الضوء الساقط على سطحها أو تشتيته داخلها .

٤ ـــ جعلت الشيئية كبيرة ومتسعة والمنظار طوله قصير وبذا يستطيع المنظار أستقبال أكبر نسبة من الضوء الخارجى وتزيد سعة مجال الرؤية للمنظار بالنسبة لهذه المناظير . هذا فضلاً على زيادة قوة التكبير لها .

٥ ـــ الأضاءة موزعة فيه بالتساوى وبوضوح تام فى مجال رؤية الميكرومترات والأضاءة للرصد الليلى أحسن كثيراً .

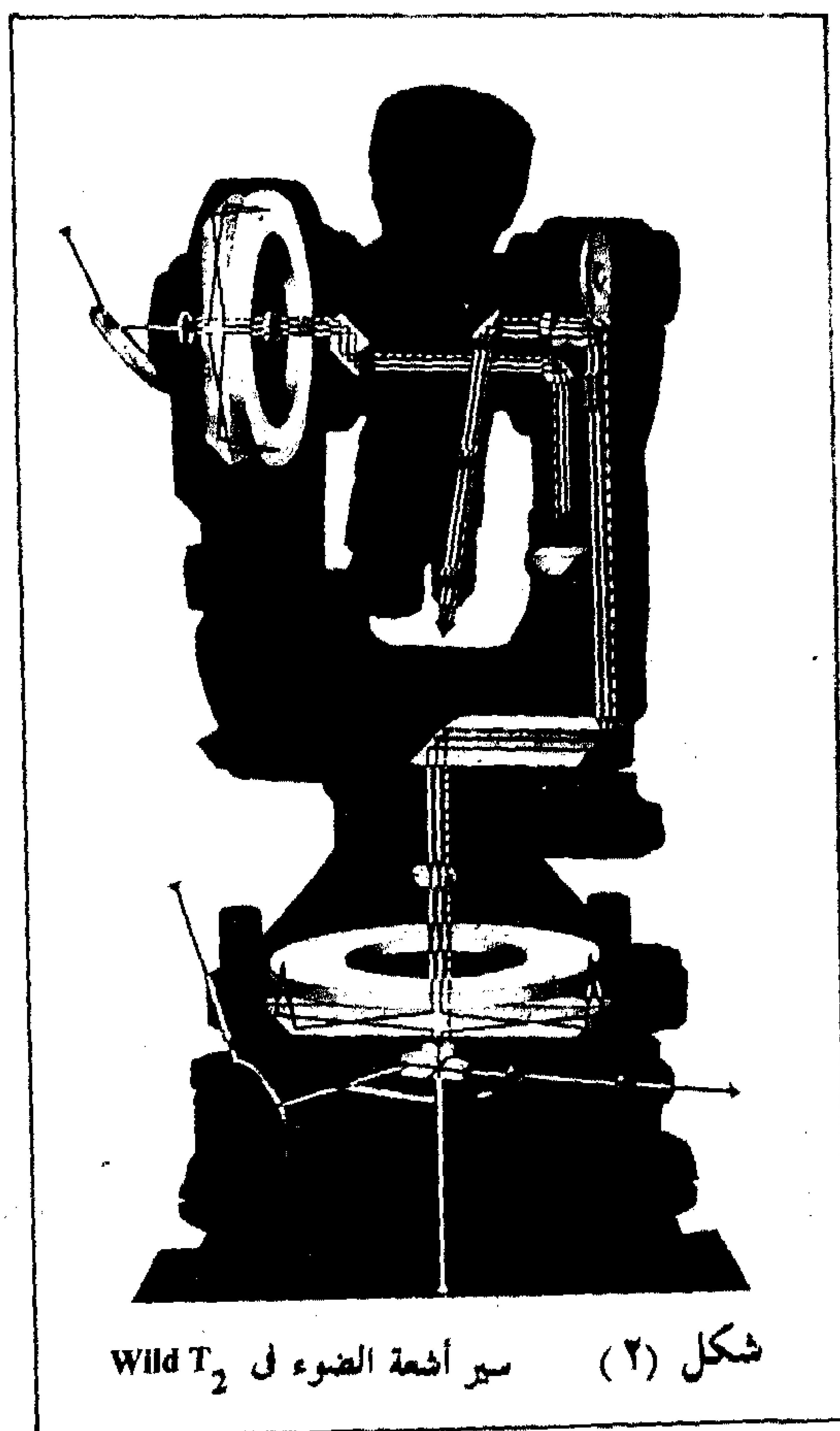
٦ ـــ تصنع الدوائر الأفقية من الزجاج بدلاً من المعدن ، حيث يمكن عمل أقسام دقيقة جداً وبعد تكبيرها بالمقدار المناسب تسهل رؤيتها والقياس عليها بدقة ، وبذا فإننا فى الأجهزة الحديثةلانحتاج إلى زيادة قطر الدائرة الأفقية بل المتبع هو تقسيم الدائرة إلى مقياس صغير مطلوب . كما أن الزجاج أقل تأثراً بتغيرات درجات الحرارة إلا أن لها عيب تراكم الطحالب عليها فى المناطق الأستوائية الحارة فضلاً عن وجوب العناية التامة بها .

٧ ـــ تنتقل صور القراءات فى التيودوليت الحديث من طرفى كل من الدائرتين الأفقية والرأسية إلى منظار صغير مجاور وموازى للمنظار الرئيسى للتيودوليت وذلك بواسطة مجموعة من المنشورات الزجاجية مختلفة الشكل والحجم ، وموضوعة فى أماكن مناسبة بداخل الجهاز . وفى التيودوليتات الرقمية تنقل صور القراءات الكترونيا إلى شاشة مثبتة على الدائرة الأفقية وأحياناً إلى شاشتين فى جهتين متضادتين .

وبذا فإن الراصد يستطيع أن يشرف على جميع الأجزاء التى يحتاج إليها فى الجهاز سواء من مسامير الحركة أو موازين التسوية وكذلك أخذ القراءات من الدائرتين الأفقية والرأسية ورصد الأهداف بدون أن يتحرك من موضعه حول الجهاز كما هو الحال فى التيودوليت العادى .

٨ ـــ فى التيودوليت الحديث نقرأ مباشرة المتوسط الحسابى آليا لقراءتى طرفى الدائرة الأفقية أو الرأسية بطريقة ضوئية عن طريقة الصور نفسها ، وبذا يتلاشى خطأ التمركز فى الجهاز وشكل (٢) يوضح مسار الأشعة داخل أحد أجهزة التيودوليت الحديث طراز (Wild T_2) لتعيين قراءة الدائرتين الأفقية والرأسية مباشرة .

٩ ـــ تزود معظم الأجهزة الحديثة بمنظار خاص عند القاعدة شكل (٢) لضبط التسامت بصرياً (بدون استعمال خيطوثقل الشاغول) مما يقلل من خطأ التسامت .



شكل (٢) سير أشعة الضوء فى Wild T_2

١٠ ـــ أدخلت تحسينات فى تقسيم حامل الشعرات بحيث أصبح صالحاً للرصد على جميع أنواع الأهداف سواء أكانت نقط صغيرة محدودة أم أجساماً كبيرة غير محددة .

١١ ـــ فى بعض التيودوليتات الحديثة أستغنى كلية عن ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية ، ووضع بدلاً منه ترتيب آخر للضبط الذاتى بحيث يمكن أخذ قراءات الزاوية الرأسية الصحيحة من هذه الدائرة مباشرة ، وفى قدرة هذا الجهاز تصحيح الميل البسيط . أما إذا كان الميل كبيراً فإن قراءة الدائرة الرأسية تختفى ولا تظهر فى المنظار الخاص بها ، وبذلك يعرف الراصد أن الميل كبير ويجب تصحيحه من ميزان تسوية الدائرة الأفقية . وهذا النوع من الأجهزة يسمى (ذو الضبط الذاتى) للدائرة الرأسية وجهاز (Theo 020) صناعة زايس وكذلك جهاز (DKM2A) صناعة كيرن يتبع هذا النظام .

قياس الزوايا بالتيودوليت الحديث

أولاً : احتياطات القياس

١ ــ ثبات واستقرار الجهاز :

لضمان ثبات واستقرار الجهاز عند الرصد لزوايا شبكات المثلثات يجب أن يحمل الجهاز على دعامة ثابتة ، وفى حالة الأرصاد الدقيقة إذا أردنا الحصول على نتائج جيدة يجب أن يحاط الجهاز بخيمة أو ما شابه لحماية الجهاز من الرياح وأشعة الشمس التى تسبب تمدداً غير متساوى فى أجزاء الجهاز .

٢ ــ الظروف المناسبة للرصد :

هذه الظروف يجب مراعاتها فى الأرصاد الدقيقة كشبكات المثلثات فيجب أن تؤخذ الأرصاد تحت ظروف جيدة لتلافى تأثير الإنكسار الجوى غير المنتظم التى يعتبر مصدر كبير للأخطاء المنتظمة خاصة فى الأحوال التى تمر فيها الأشعة قريباً من سطح الأرض وجدران المنشئات والمبانى وعبر المناطق الصناعية ، ومن الظروف الجيدة للرصد على الشواخص أو الأبراج العالية أن يكون الرصد فى الأيام الكثيفة الغيوم أو بعد الظهر إذا كان مشمساً ، وأرصاد الزوايا الأفقية التى تجرى على إشارات ليلية تجرى عادة بين غروب الشمس ومنتصف الليل وفيها نحصل على نتائج جيدة لأن الإنكسار الأفقى فيها أقل كثيراً مما يحدث نهاراً . والأرصاد التى تجرى فى الصباح المبكر يحدث فيها تغير سريع نتيجة للإنكسار غير المنتظم .

٣ ــ رصد الزوايا :

يراعى لضمان التقليل من الأخطاء الطبيعية والآلية عند رصد الزوايا ما يلى :

أ ــ يؤخذ نصف الأرصاد لكل زاوية والمنظار متيامن والنصف الآخر والمنظار متياسر .

ب ــ نصف الأرصاد يؤخذ من اليمين إلى اليسار ونصفها الآخر بالعكس .

حـ ــ الإكثار من الأرصاد بالرصد على عدة أقواس .

ء ــ عند إتمام الضبط المؤقت للتيودوليت الحديث المزود بمنظار تسامت

يجب مراعاة ضبط أفقية الجهاز قبل إجراء التسامت وذلك لوجوب رأسية شعاع التسامت .

ثانياً ــ طرق قراءة الزوايا

وتوجد عدة طرق للقراءة على الدائرة الأفقية والرأسية بالتيودوليت الحديث حيث تعتمد على ايجاد صورتى تدريجين متقابلين على قطر واحد خلال منظار صغير ثم تعيين المتوسط للقراءتين آلياً ، وفى بعض الأجهزة يظهر جانب واحد فقط من الدائرة ، وفيما سنبينه من الطرق توجد تغيرات طفيفة بين بعضها ، كما أنه فى بعض الأجهزة نرى إحدى الدائرتين فقط ولتكن الأفقية مثلاً ، فإذا أردنا رؤية الدائرة الرأسية يجب أن ندير طارة خاصة أو مسمار خاص فتختفى رؤية الدائرة الأفقية وتظهر الدائرة الرأسية .

الطريقة الأولى ــ طريقة وايلد :

إن أشعة الضوء الخارجى تدخل عن طريق فتحة صغيرة تدور أمامها مرآة حول مفصل ثابت ويمكن إدارتها باليد بحيث تصبح فى وضع يسمح بدخول أكبر مقدار من الضوء إلى الجهاز شكل (٢) لإضاءة كل من الدائرة الأفقية والرأسية .

وقد صمم الجهاز بحيث أن الشعاع الضوئى يصل إلى نقطتين على محيط هذه الدائرة وتقعا على طرفى قطر من أقطارها ، أى أن الشعاع الضوئى بعد إنعكاسه على سطح هذه الدائرة يحمل معه قراءتين الفرق بينهما ١٨٠° .

بعد ذلك توجه هذه الحزمة الضوئية بواسطة منشورات أخرى خاصة حتى تصل إلى منظار صغير بجوار المنظار الرئيسى للجهاز . وأثناء سير هذه الأشعة

تمر بالميكرومتر . وفى هذا الميكرومتر توجد قطعتان من الزجاج على شكل متوازى المستطيلات ، وعند مرور الحزمة الضوئية بجهاز الميكرومتر تمر القراءة التى تمثل أحد الطرفين من إحدى الزجاجتين بينما تمر القراءة الأخرى التى تمثل الورنية الثانية على الطرف الآخر من الزجاجة الأخرى فإذا أدرنا مسمار جهاز الميكرومتر الموجود خارج جهاز التيودوليت فإن صورة القراءة المأخوذة من طرف الدائرة الأيمن تسير إلى جهة اليمين بينما صورة القراءة المأخوذة من الطرف الأيسر تسير إلى اليسار بمقدار متساو فى كل منهما .

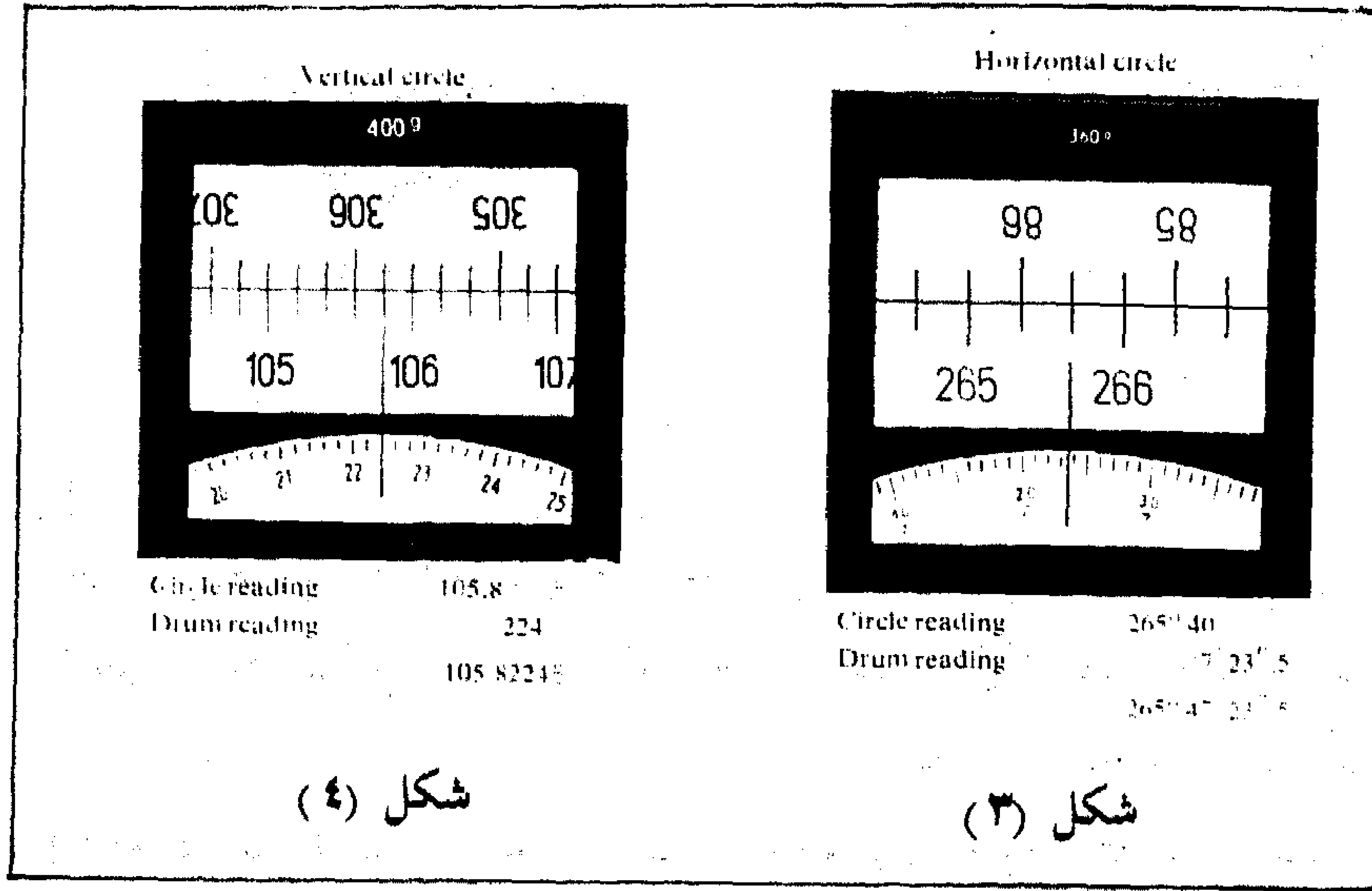
وعند إدارة مسمار الميكرومتر تنطبق الخطوط الرأسية لقراءات الدائرة فى الصورتين مع بعضهما ، أى أن كلا من الصورتين قد انتقلت بمقدار يساوى متوسط المسافة بين القراءتين .

هذا المقدار المتوسط أو القراءة النهائية تظهر بعد تطابق الخطوط الرأسية لقراءات أقسام الدائرة مع بعضها ، وذلك خلال المنظار الجانبى الموازى للمنظار الرئيسى .

يرى الراصد مجموعتين من الأرقام إحداهما معدولة والأخرى مقلوبة ، وتختلف المجموعتان فى الدائرة الأفقية بمقدار ١٨٠° وطريقة القراءة أننا نبحث عن رقم معدول له رقم مقلوب يختلف عنه بمقدار ١٨٠° ويقع إلى اليمين منه فتدار طارة الميكرومتر حتى ينطبق القسم المعدول على القسم المقلوب المقابل له ، ومقدار دوران الميكرومتر نراه من المنظار الصغير . ودقة الميكرومتر تتوقف على نوع الجهاز **ويجب ملاحظة أن القراءة قبل عمل الأنطباق لا معنى لها ، بل يجب أجراء الأنطباق أولاً ثم القراءة** وشكل (٣) يبين قراءة الدائرة الأفقية لتيودوليت Wild T 2 ، ٣٦٠° حيث نجد أن بعد الانطباق تكون القراءة المعدولة التى لها مقابل فرقه ١٨٠° وعلى اليمين هى ٢٦٥° وبين الأثنين أربع أقسام كل منها نعتبره فى الحساب نصف قيمته أى ١٠′ . أما قراءة الميكرومتر فهى كما يلى : الرقم المكرر كتابته هو عدد الدقائق الواجب اضافتها (٧′) والتدريج يعطى الثوانى ، وبهذا فإن :

القراءة = ٢٦٥° ٤٠′ + ٠٧′ + ٢٣,٥″ = ٢٦٥° ٤٧′ ٢٣,٥″

وشكل (٤) يبين مثال أخر لقراءة الدائرة الرأسية لنفس النوع من التيودوليت ولكن بالتقسيم الجديد (٤٠٠ g) حيث طارة الميكرومتر يختلف تقسيمها عن النظام الستينى .

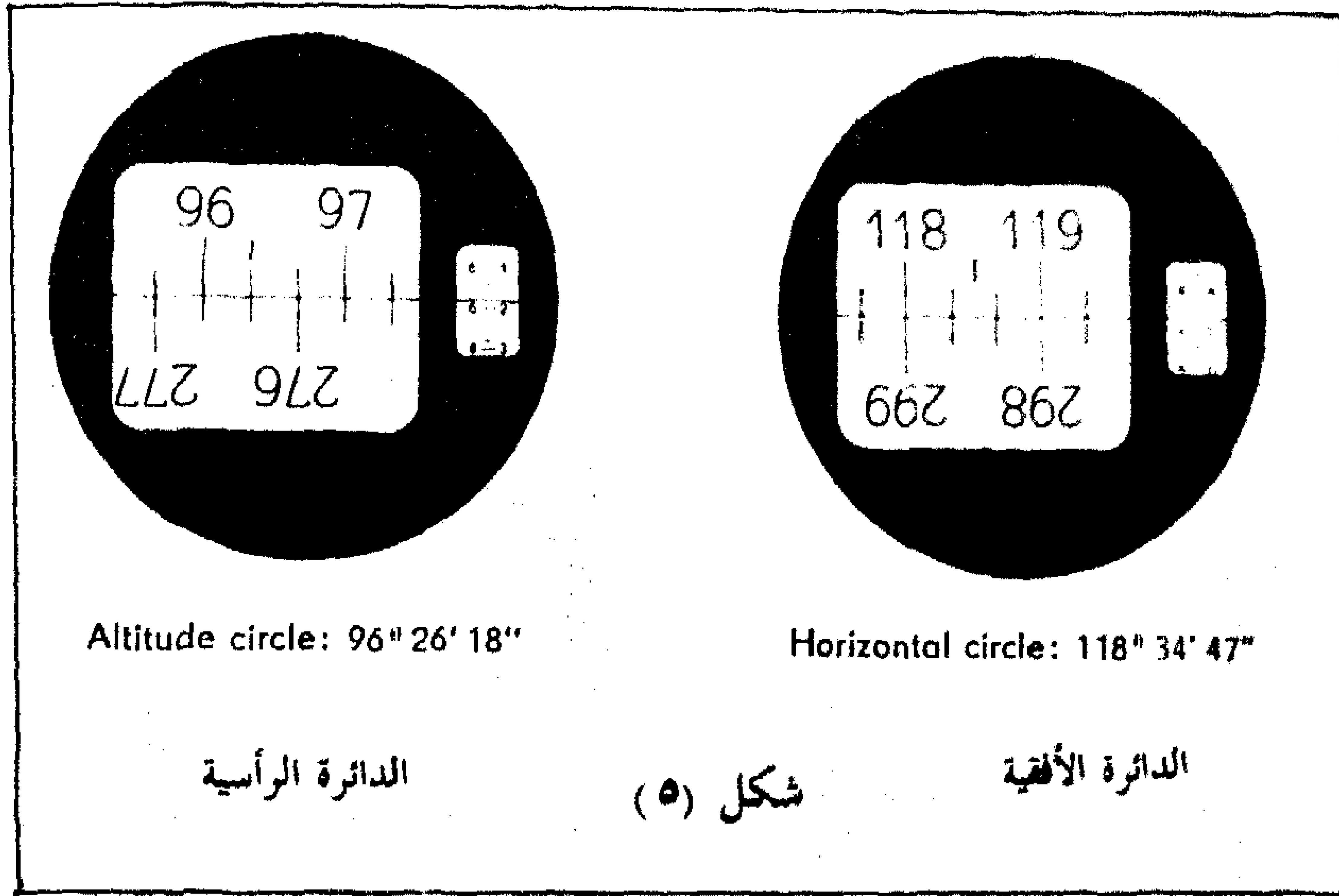


شكل (٤) شكل (٣)

وشكل (٥) يبين مثالاً آخر لجهاز (Theo 2) من صنع VEB بألمانيا والذى يتبع نفس النظام حيث كانت قراءة الدائرة الرأسية هى ٩٦° ٢٦′ ١٨″ وقراءة الدائرة الأفقية بعد التطبيق ١١٨° ٣٤′ ٤٧″ (أصغر قسم صحيح على الميكرومتر ٢″) ويلاحظ أنه لقراءة الدائرة الرأسية نحتاج إلى إدارة مسمار خاص فتختفى صورة الدائرة الأفقية وتظهر بدلاً منها صورة الرأسية .

الطريقة الثانية : طريقة زايس

وهذه الطريقة كالسابقة تماماً والتدريج على الحافة مزدوج (أى أن خطوط التقسيم على الدائرة عبارة عن خطين متوازيين بدلاً من خط واحد) والتدريج الحقيقى هو الخط الوهمى المتوسط بين كل خطين . والغرض من هذين الخطين



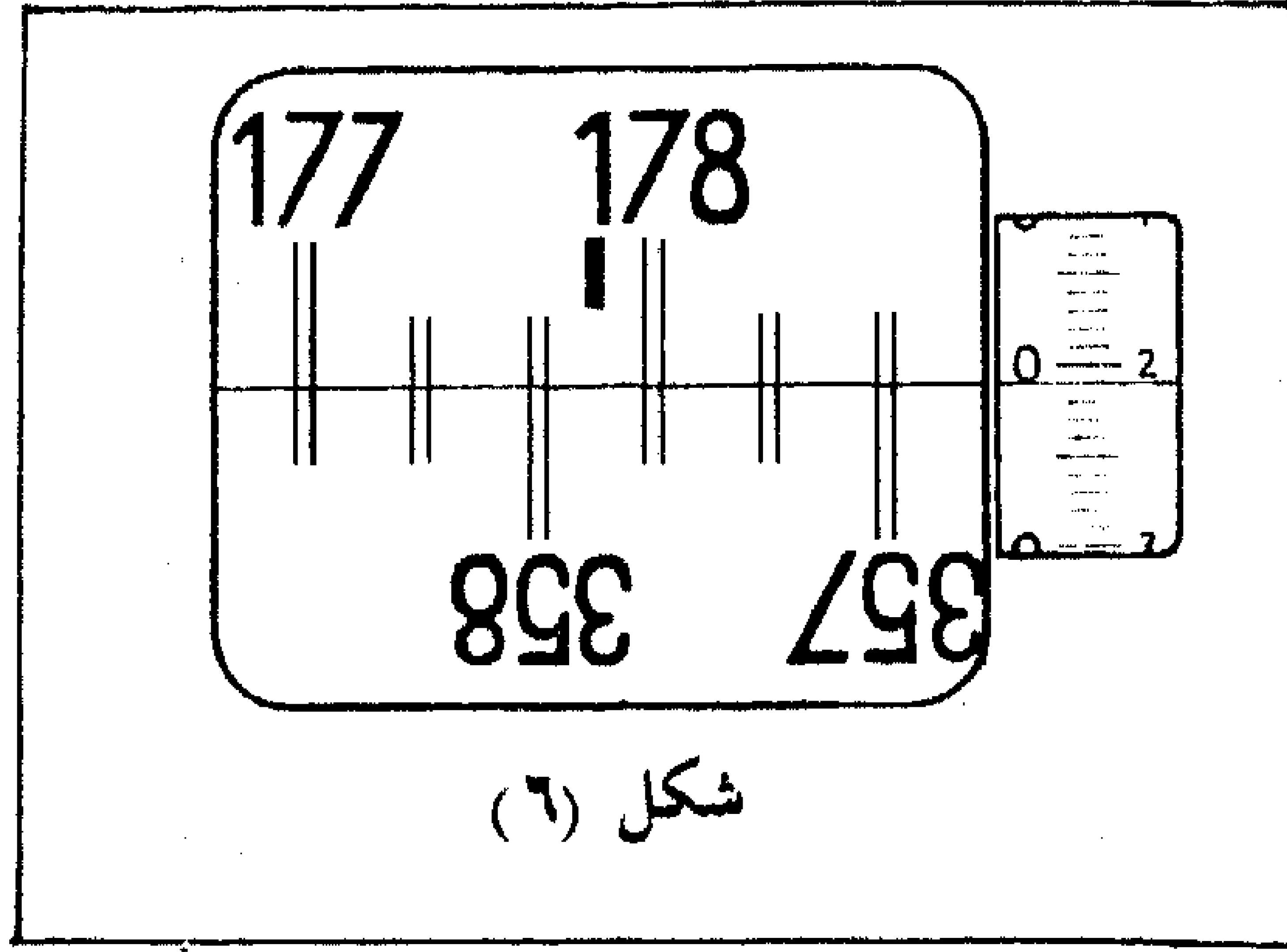
Altitude circle: 96° 26' 18"　　　Horizontal circle: 118° 34' 47"

الدائرة الرأسية　　شكل (٥)　　الدائرة الأفقية

المتوازيين هو إمكان الحصول على دقة أكبر عند تطابق الصورتين مع بعضهما البعض . وفى شكل (٦) إلى اليمين صورة أقسام الميكرومتر والدائرة مقسمة إلى درجات ، ٢٠ دقيقة . ولما كان متوسط القراءتين المطلوب على أساس إزاحة كل من الصورتين بمقدار نصف المسافة بين خطوط التقسيم الرأسية حتى يتم الإنطباق المطلوب ، فإن مقدار حركة كل من الصورتين على حدة ، يساوى نصف المسافة بين خطوط التقسيم ، أى يساوى ١٠′ فقط وبذا نجد أن القراءة على المقياس تعطينا الدرجات وعشرات الدقائق ، أما الدقائق والثوانى فبواسطة الميكرومتر شكل (٦) (جهاز Theo 010 زايس Jena) والقراءة هى ٥٠′ ١٧٧° على المقياس ، ٢١,٠٠″ ٠٠′ على الميكرومتر وبذا تكون القراءة على الدائرة الأفقية ٢١,٠٠″ ٥٠′ ١٧٧° .

الطريقة الثالثة ــ طريقة كيرن

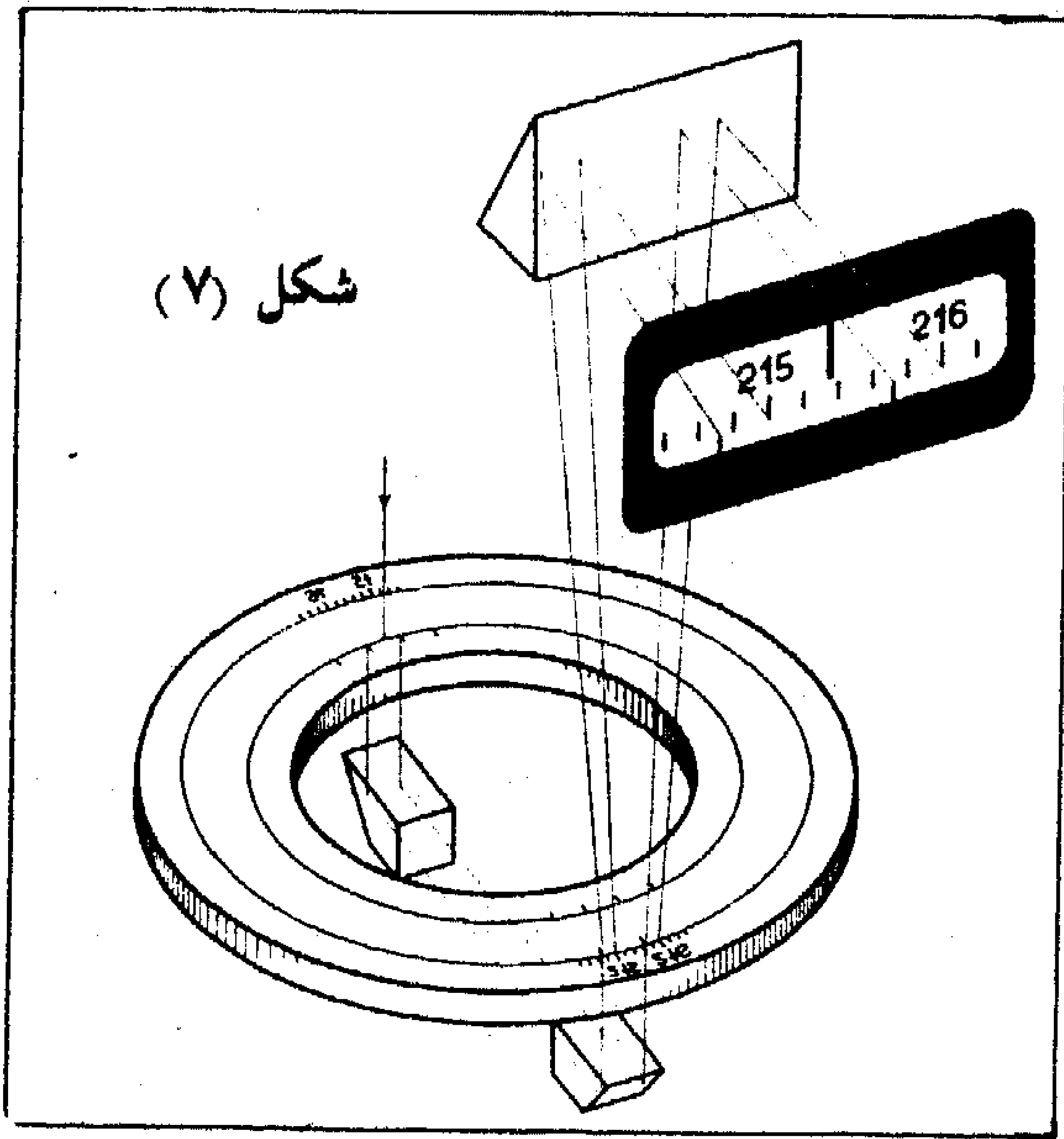
هناك طريقتان للقراءة فى هذا النوع من الأجهزة لأخذ قراءات الزوايا الأفقية والرأسية . تتبع إحداهما فى تيودوليتات القياس المتوسطة الدقة والأجهزة التاكيومترية ، والثانية فى الأجهزة الدقيقة وعالية الدقة ، وتعرف هذه الأجهزة بذات الدوائر المزدوجة (Double Circle Theodolites) .



شكل (٦)

أولاً ـــ الأجهزة المتوسطة الدقة (بدون ميكرومتر ضوئى) :

القرص الزجاجى مرسوم عليه دائرتان متحدتان فى المركز ومختلفتان فى نصف القطر ولذلك سميت « ذات الدوائر المزدوجة » الخارجية منها مقسمة تقسيماً كاملاً ، أى إلى درجات وأجزائها بينما الداخلية مقسمة إلى درجات صحيحة فقط شكل (٧) . ويظهر فى المنظار الصغير صورة طرفى القرص



شكل (٧)

الزجاجى على إمتداد أى قطر فيه وبحيث يظهر عند أحد طرفى هذا القطر المقياس الخارجى بينما يظهر عند الطرف الثانى لهذا القطر دائرة المقياس الداخلى ، وبذا تكون القراءة المحصورة هى متوسط هاتين القراءتين . وقد استغنى عن جهاز الميكرومتر الضوئى فى هذا النوع من الأجهزة .

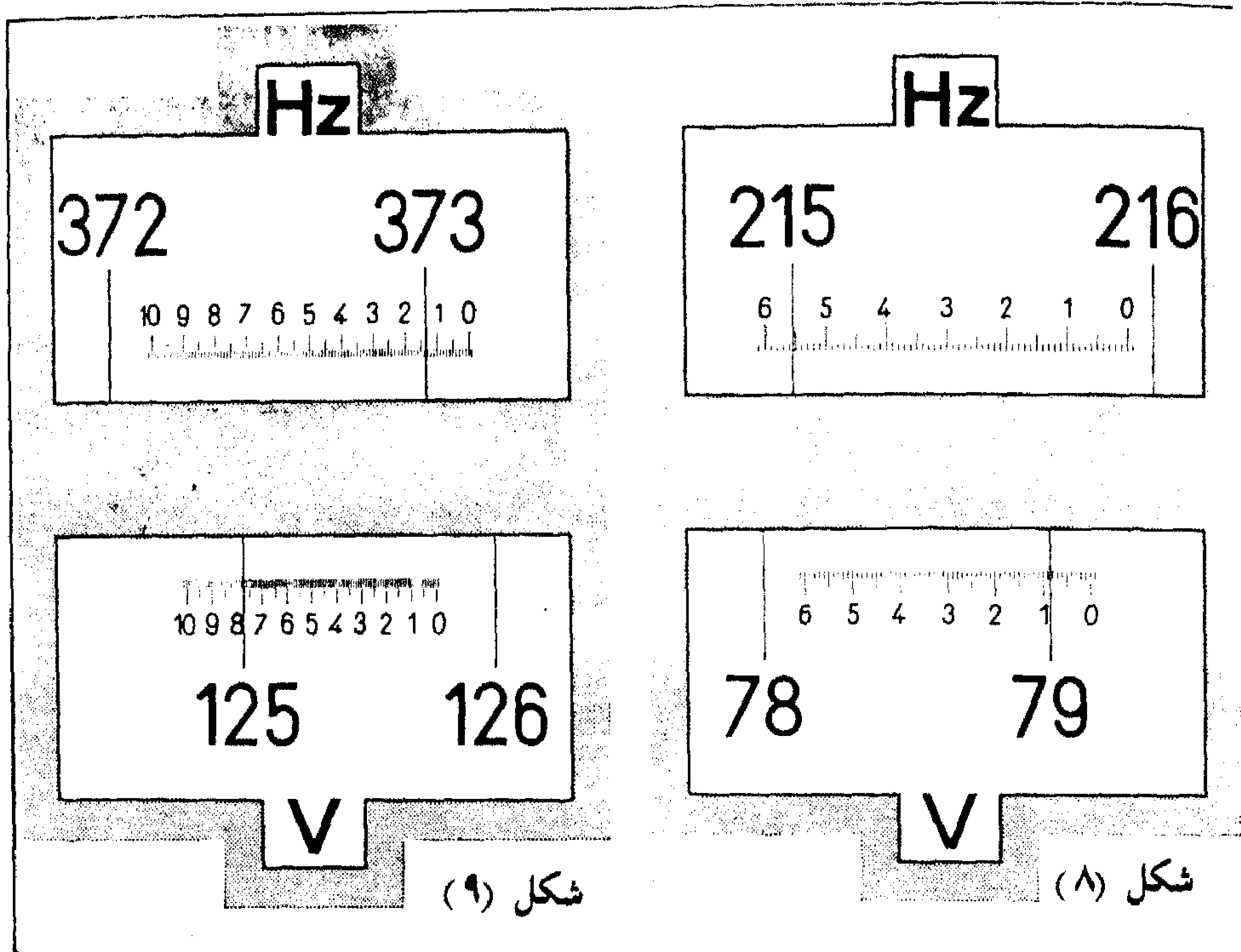
وبعض الشركات تتبع فى تعيين قراءة الأجهزة المتوسطة الدقة طريقة بسيطة تتناسب مع بساطة القراءات المطلوب تعيينها ، وتبدو صورة هذه القراءات كما يراها الراصد من المنظار الخاص بهذه القراءات . وفى هذه الحالة لا يوجد جهاز الميكرومتر ونستعيض عنه بما يشبه الورنية لقراءة أجزاء الدرجات بدقة دقيقة واحدة وأجزاء الدقيقة بالتقدير وغالباً ما يظهر فى الصورة قراءتا الدائرتين الأفقية والرأسية معاً ، وتكون القراءة فى هذه الحالة من طرف واحد فقط من الدائرة .

ومثال للأجهزة التى تتبع هذه الطريقة جهاز زايس (Theo 020) شكل (٨) وقراءة الدائرة الأفقية للجهاز ٥٥,٤′ ٢١٥° والرأسية ٨,٥′ ٧٩° وشكل (٩) يبين مثالاً آخر لتيودوليت مقسم بالنظام الجديد والقراءة الأفقية ٣٧٣,١٣٣ g والرأسية ١٢٥,٧٧٥ g .

ثانياً ـــ للأجهزة الدقيقة :

أما فى الأجهزة الدقيقة فأساسها أيضاً استعمال الدوائر المزدوجة ذات المركز الواحد ، ولكن الفرق بينها وبين الحالة السابقة هى أن صورة الأقسام تظهر للراصد إلى جوار بعضها البعض (أى كخطوط مزدوجة) ولكن كل منها من مقياس غير الآخر ، أى أن هذين الخطين يكون كل منهما طرفا لقطر الدائرة والمسافة بينهما ١٨٠° على هذه الدائرة .

ولأخذ القراءة يحرك الميكرومتر البصرى علامة ذات خط مفرد كما فى شكل (١٠) أو ذات خط مزدوج كما فى شكل (١٢) .

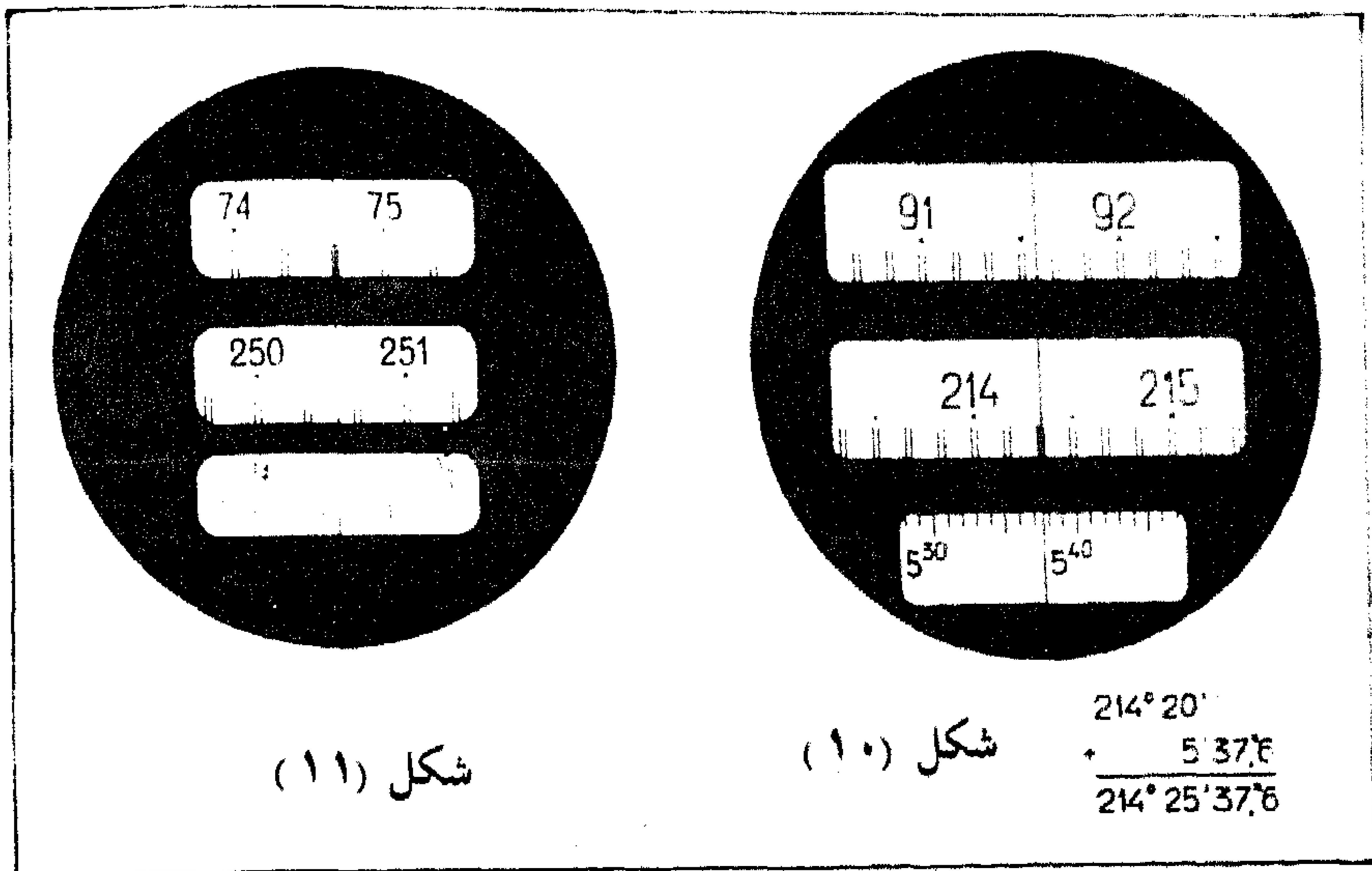


شكل (٩)　　　　　شكل (٨)

تحرك علامة الصفر (حالة العلامة المفردة) حتى تنصف المسافة بين أقرب خط مزدوج بإدارة طارة الميكرومتر ، وبذا نحصل آليا على متوسط القراءتين الموجودتين على قطر واحد فى الدائرة ، أما طارة الميكرومتر فيبين عليها قراءة الميكرومتر وفى شكل (١٠) القراءة على الدائرة الأفقية هى :

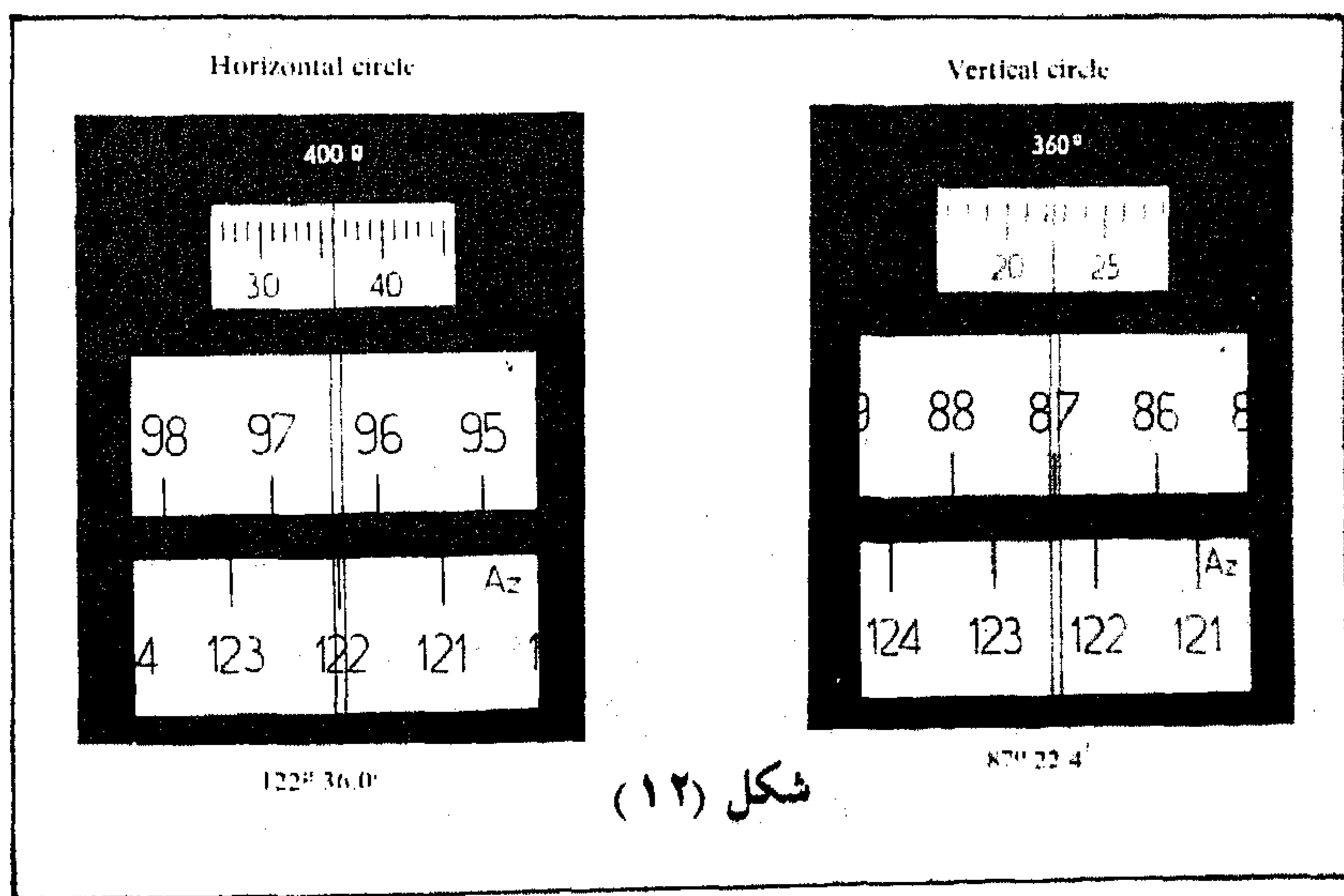
٢٠′ ٢١٤° + ٣٧,٦″ ٥′ = ٣٧,٦″ ٢٥′ ٢١٤°

والقراءة على الدائرة الرأسية بنفس طريقة الدائرة الأفقية ، أى ندير طارة الميكرومتر حتى تنصف علامة الصفر أقرب علامة مزدوجة يمكن الوصول إليها حسب ما تسمح به طارة الميكرومتر سواء الخطان السابقان أو اللاحقان بالنسبة لعلامة الصفر . وفى شكل (١١) مبين مثال آخر لقراءة الدائرة الرأسية لتيودوليت كيرن (DKM 1) حيث القراءة ٢٥″ ٥٤′ ٥٧٤° .



شكل (١١)   شكل (١٠)

أما إذا كانت علامة الصفر مزدوجة فإننا نجعل علامة الصفر تتحرك بالميكرومتر حتى يحصر خطاها أحد أقسام التدريج ، ففى شكل (١٢) القراءة على الدائرة الرأسية فى تيودوليت Wild T 1 هى ٢٢,٤ ′ ٨٧° والقراءة على الدائرة الأفقية لنفس النوع من التيودوليت بالنظام الجديد هى g ١٢٢,٣٦٠ .



شكل (١٢)

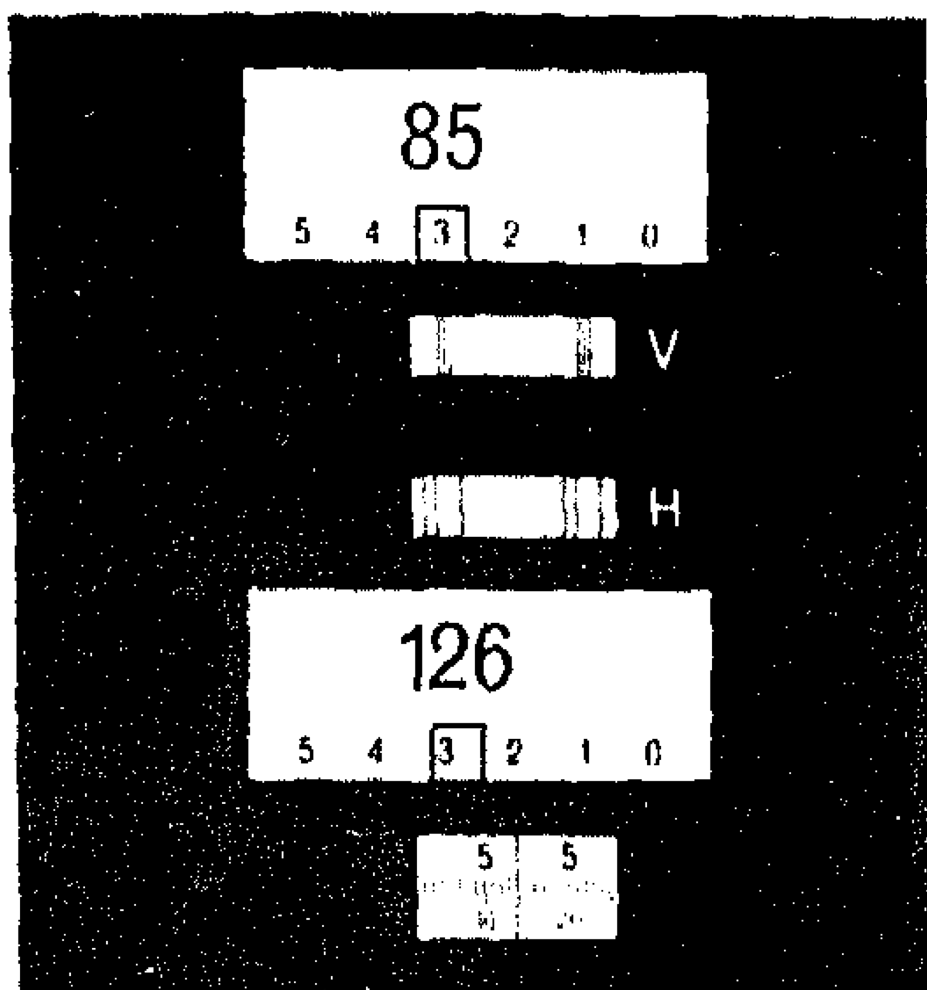
وفى الأشكال من (١٣) إلى (١٦) مبين طريقة القراءة المتبعة فى بعض الأجهزة الحديثة من التيودوليتات . ففى شكل (١٣) مبين طريقة القراءة فى تيودوليت كيرن عالى الدقة DKM3 للدائرة الرأسية حيث يتم التطبيق فى المجال على شكل الشبه منحرف بواسطة ثلاثة أزواج من العلامات المزدوجة وتأخذ القراءة على الدائرة بواسطة السهم وعلى طارة الميكرومتر (إلى أسفل) بواسطة العلامة الرأسية وعلى ذلك تكون القراءة هى :

٥٠′ ٨٢° + ٠١,٨″ ٠٣′ = ٠١,٨″ ٥٣′ ٨٢° .

أما فى شكل (١٤) فمبين طريقة القراءة فى تيودوليت كيرن الدقيق DKM2A حيث يظهر فى مجال المنظار الخاص بالقراءة مقياس علوى للدائرة الرأسية أسفله شباكين خاصين بالتطبيق لقراءات الدائرة الرأسية وأسفله للدائرة الأفقية ثم مقياس الدائرة الأفقية ثم طارة الميكرومتر . ويعتبر التطبيق تام إذا كانت العلامات فى شباك التطبيق ذات مسافات متساوية . وعلى ذلك فواضح أن القراءة تمت للدائرة الرأسية حيث التطبيق فى الشباك العلوى والقراءة على الدائرة تأخذ بواسطة المربع الموجود على المقياس ، وبذلك تكون القراءة للدائرة الرأسية هى ٣٠′ ٨٥° + ١٤″ ٠٥′ = ١٤″ ٣٥′ ٨٥° .

وفى شكل (١٥) مبين مجال منظار القراءة لتيودوليت سوكيشا اليابانى طراز TM20E وذلك بعد إجراء تطبيق الميكرومتر للدائرة الأفقية إبتنصيف إحدى العلامات المزدوجة الدالة على الدرجات بواسطة العلامة الرأسية والقراءة هى ٤٠″ ٠٣′ ٢٠٥° . أما فى الشكل (١٦) فمبين مجال منظار القراءة لتيودوليت سن راى اليابانى طراز T-205A وذلك بعد إجراء التطبيق للدائرة الأفقية بحصر إحدى العلامات الدالة على عشرات الدقائق بواسطة العلامة المزدوجة ، والقراءة مساوية .

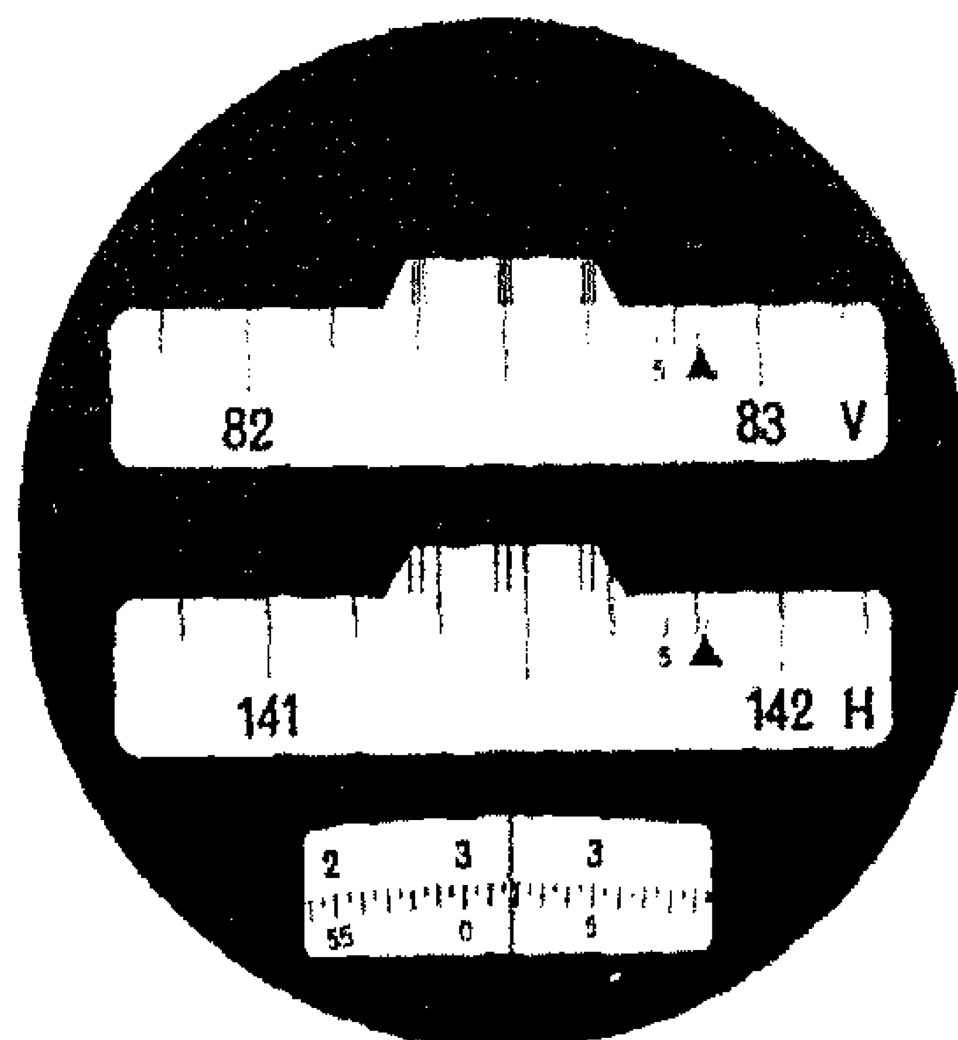
٤٠′ ١٢٦° + ٣٥″ ٠٦′ = ٣٥″ ٤٦′ ١٢٦° .



Cercle vertical 360°:
85° 35′14″

Vertical circle 360°:
85° 35′14″

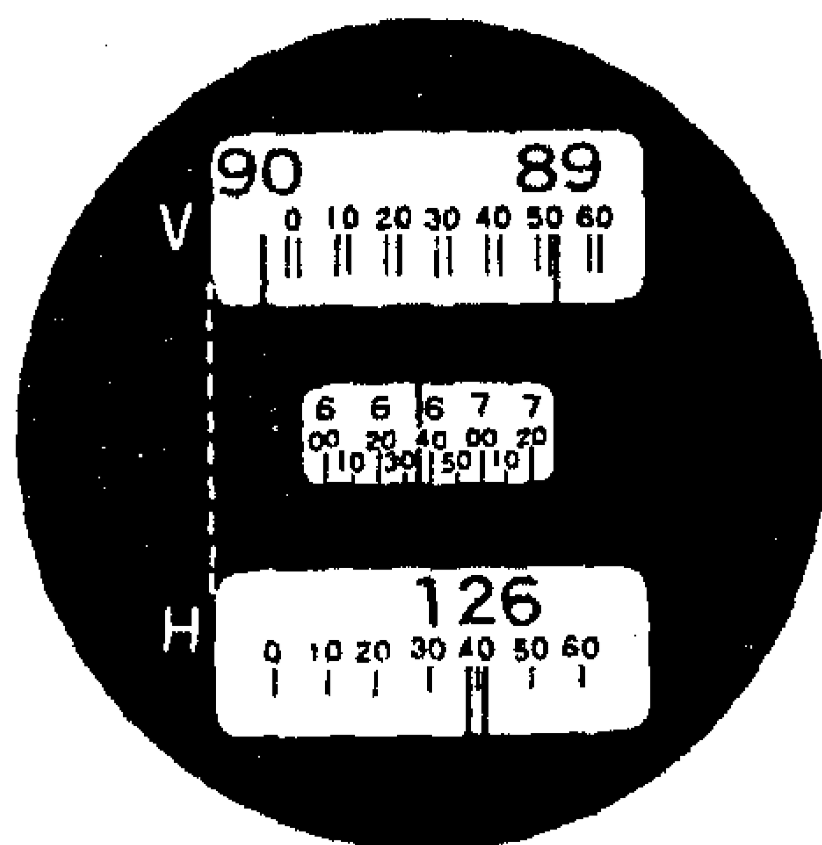
شكل (١٤)



الرأسية

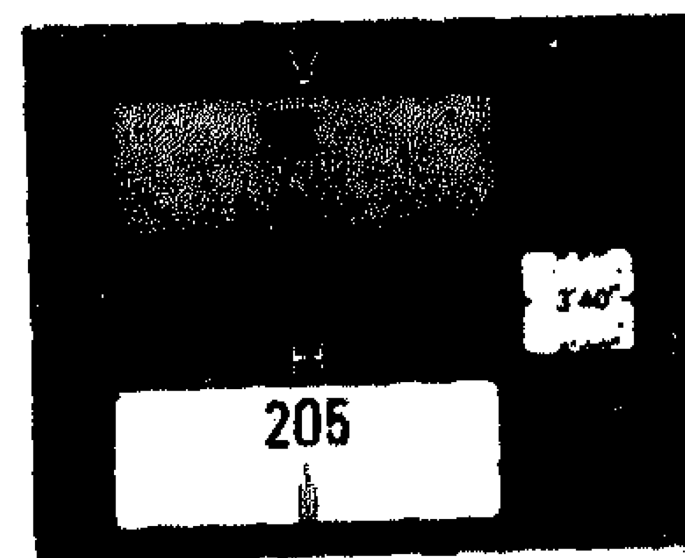
82° 50′
3′ 01.8″
82° 53′ 01.8″

شكل (١٣)



H
126° 40′
+ 6′ 35″
126° 46′ 35″

شكل (١٦)



شكل (١٥)

الباب الثانى
الطرق الدقيقة
لرصد الزوايا الأفقية

عند البحث فى طرق رصد الزوايا الأفقية خاصة لشبكات المثلثات نجد أن لكل طريقة ميزاتها وعيوبها . ويتوقف اختيار الطريقة على نوع الشبكة ودرجتها ومقدار الدقة المطلوبة ، وإن كان المطلوب دائماً ينحصر فى ثلاث نقاط هى :

١ ـــ زيادة عدد الأرصاد كلما أمكن ، إذ أن زيادة الأرصاد يقربنا إلى القيمة الحقيقية .

٢ ـــ العمل على التغلب على الأخطاء الشخصية والآلية .

٣ ـــ التقليل من التأثير المنتظم للظروف الطبيعية .

ولقد قدمنا فى المؤلف الأول الطرق المتبعة لرصد الزوايا الفردية فى الأعمال الهندسية وطرق رصد زوايا شبكات الترافرسات ، وفيما يلى الطرق المتبعة لرصد زوايا شبكات المثلثات بدرجاتها المختلفة .

أولاً ـــ طريقة جاوس ـــ شرايبر (Gauss - Schreiber)

وتسمى أحياناً بطريقة كل الإتجاهات . وتحدد هذه الطريقة عدد معادلات الرصد لمجموعة من الزوايا محصورة عند نقطة مثلثات من الدرجة الأولى . وفى هذه الطريقة نحصل على جميع الاحتمالات لرصد الزوايا المحصورة عند نقطة وتستعمل لرصد من أربعة إلى ستة اتجاهات ويجرى الرصد بها كالتالى :

١ ـــ الطريقة تعتمد أساساً على اعتبار أحد هذه الاتجاهات عند هذه النقطة كاتجاه أساسى للرصد وترصد منه الزاوية الأولى منفردة ثم مجموع زاويتين ،

فمجموع ثلاث زوايا وهكذا حتى نصل إلى آخر اتجاه وذلك بدون قفل الأفق .

٢ ـــ نعتبر بعد ذلك الاتجاه الذى يلى الإتجاه الأول كإتجاه أساسى وتكرر عملية القياس لباقى الإتجاهات فإذا فرضنا فى شكل (١٧) أن الإتجاهات المحصورة عند نقطة (و) هى إلى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، .... ، هـ فإن الزوايا المرصودة تكون هى :

١ ـــ ٢ ، ١ ـــ ٣ ، ١ ـــ ٤ ، ١ ـــ ٥ .... ١ ـــ هـ
٢ ـــ ٣ ، ٢ ـــ ٤ ، ٢ ـــ ٥ .... ٢ ـــ هـ
٣ ـــ ٤ ، ٣ ـــ ٥ .... ٣ ـــ هـ
٤ ـــ ٥ .... ٤ ـــ هـ
....
(هـ ـــ ١) ـــ هـ

وعموماً إذا كان عدد الإتجاهات (هـ) فيكون :

عدد الزوايا المطلوبة = (هـ ـــ ١)

..... (١)

عدد معادلات الرصد = $\frac{\text{هـ (هـ ـــ ١)}}{٢}$

..... (٢)

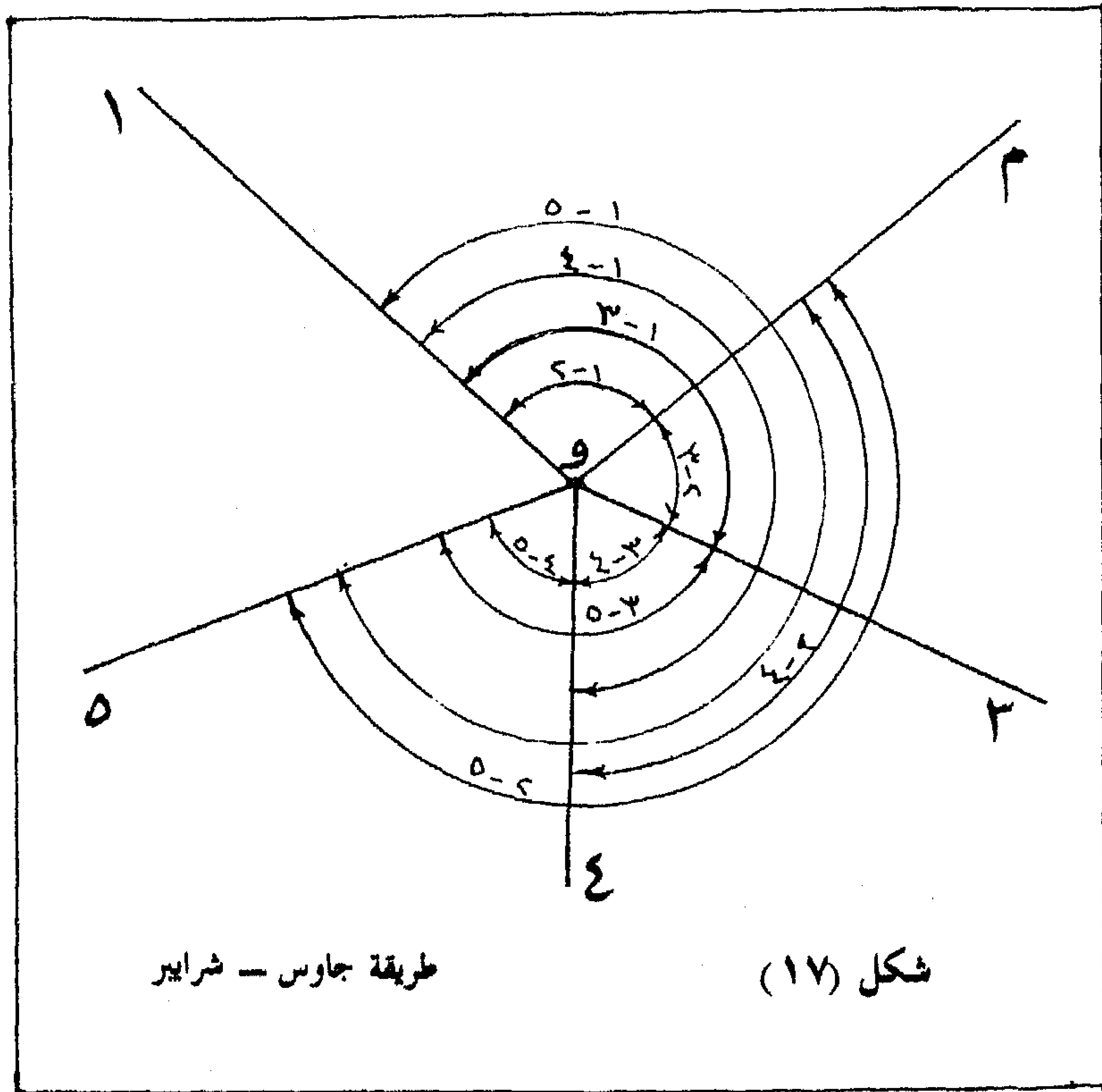
فإذا كان لدينا خمسة اتجاهات فيكون :

عدد معادلات الرصد = $\frac{\text{٥ (٥ ـــ ١)}}{٢}$ = ١٠

عدد الزوايا المطلوبة = عدد المجاهيل = ٥ ـــ ١ = ٤

وفى حالة ٦ إتجاهات يزاد عدد معادلات الرصد إلى ١٥ معادلة ويكون عدد الزوايا المطلوبة هو خمسة .

والرصد بهذه الطريقة يؤدى إلى وجود ارتباط بين قيم الزوايا المطلوبة وبعضها فعلى سبيل المثال يجب أن تساوى الزاوية ١ ـــ ٣ مجموع الزاويتين ١ ـــ ٢ ، ٢ ـــ ٣ وهذا النوع من الأرتباط يطلق عليه وجود شرط محلى . وعامة تظهر الشروط إذا ما كانت الأرصاد أزيد من الحاجة إليها ، ووجود المعادلات الشرطية يؤدى بدوره إلى ضرورة ضبط الأرصاد وتصحيحها حتى تتحقق هذه الشروط . ويتم ضبط الأرصاد الشرطية باستخدام طرق رياضية خاصة سنتعرض لها فيما بعد . وإذا ما درسنا الشروط الموجودة فى حالة الرصد المبينة فى شكل (١٧) نجد أن عددها الكلى هو ستة فى حين أن عدد



شكل (١٧) طريقة جاوس ـــ شرايبر

الشروط يكون واحداً فى حالة رصد ثلاثة اتجاهات فقط ويزيد إلى عشرة فى حالة رصد ستة اتجاهات ويكون مساوياً ٢٨ فى حالة رصد ٩ اتجاهات . وعلى ذلك يوصي دائماً بأن تستخدم الطريقة للرصد لعدد من الأتجاهات لا يزيد عن ستة لأنه إذا ما كانت الأتجاهات أكثر من ذلك يزيد عدد المعادلات الشرطية وتصبح طريقة الضبط للأرصاد أكثر صعوبة . كما يجب أن لا يقل عدد الأتجاهات عن ثلاثة حتى تكون لدينا أرصاد شرطية (شرط واحد) .

مميزات هذه الطريقة :

١ ــ استخدام كل الأتجاهات كأتجاهات أساسية .

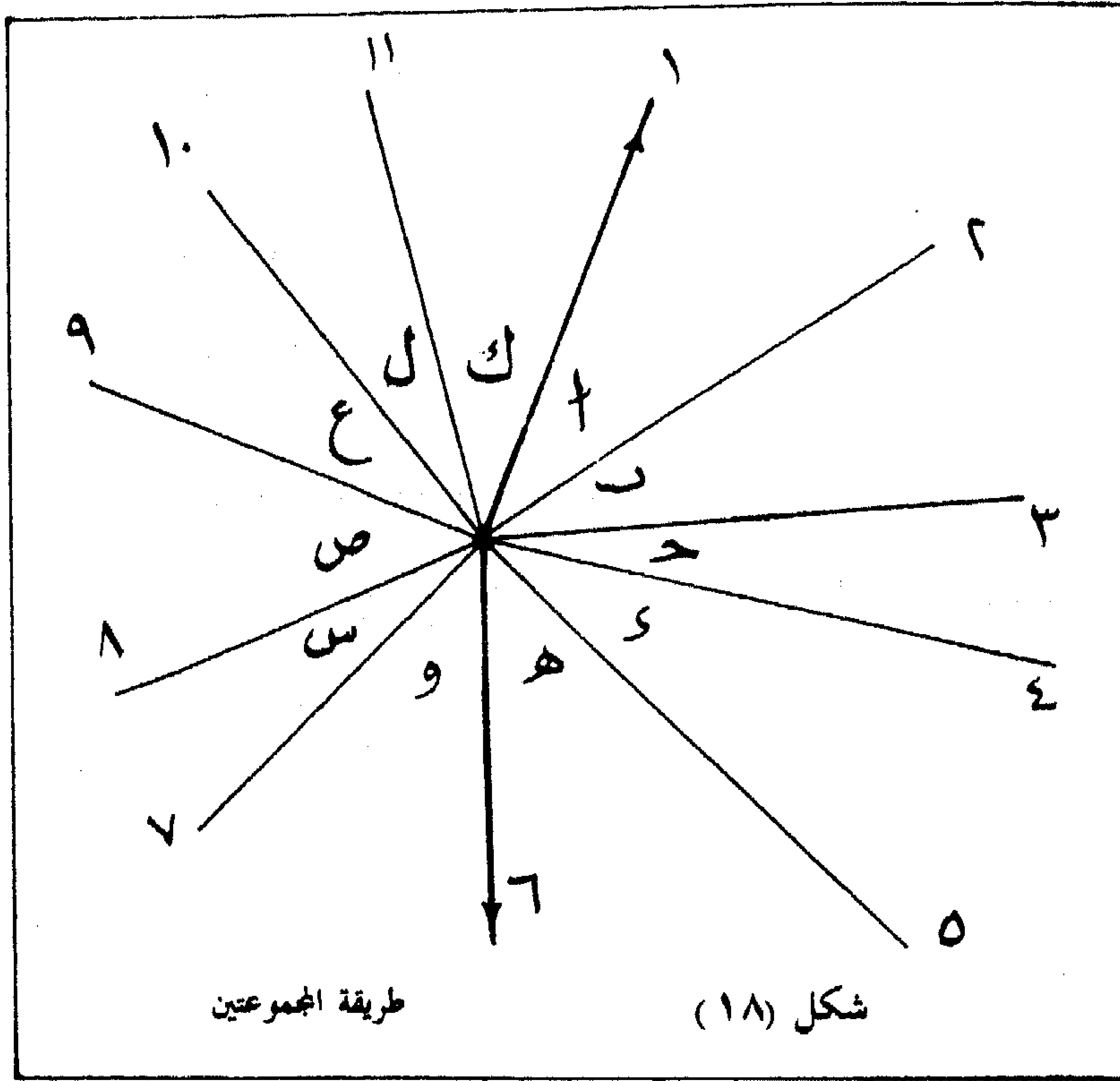
٢ ــ زيادة عدد معادلات الرصد والمعادلات الشرطية إذا كانت الأتجاهات كثيرة نسبياً وهذا مما يقربنا من قيم أكثر إحتمالاً للزوايا بعد إجراء عملية التصحيح .

٣ ــ التقليل من الأخطاء الآلية والمنتظمة .

ولما كان زيادة عدد الأتجاهات يشكل صعوبة فى إجراء الرصد والضبط فلقد تم إجراء تعديل فى أسلوب الرصد بهذه الطريقة إذا مازاد عدد الأتجاهات عن ستة .

ثانياً ــ طريقة المجموعتين (Group method)

نعمل فى هذه الطريقة على تقسيم مجموعة الإتجاهات ، إذا زاد عددها عن ٦ إتجاهات ، إلى مجموعتين بإتجاهين يكونا أقرب ما يمكن إلى الشمال والجنوب شكل (١٨) . وبذلك تكون إحدى المجموعتين إلى الشرق والأخرى إلى الغرب ، وتكون المجموعة التى فى إتجاه الشرق معرضة لأشعة الشمس فى فترة الصباح أكثر من المجموعة الأخرى وتكون المجموعة الثانية معرضة لأشعة الشمس فى فترة بعد الظهر أكثر من المجموعة الأولى . تقاس كل مجموعة على حدة بطريقة كل الأتجاهات (جاوس) .



طريقة المجموعتين

شكل (١٨)

وفى هذه الطريقة نستطيع بأكبر قدر ممكن تلافى الخطأ المنتظم الناشىء عن الأنكسار وتأثير الشمس والحرارة وذلك بأخذ أرصاد المجموعة الغربية فى الصباح وأرصاد المجموعة الأخرى بعد الظهر . نستطيع بعد ذلك أن نكوّن معادلات الرصد لكل مجموعة على حدة باستخدام طريقة (جاوس) .

ففى شكل (١٨) نجد أن أصلح اتجاهين للحصول على المجموعتين هما ١ ، ٦ والمجموعتان هما .

المجموعة الأولى : الزوايا ا ، ب ، حـ ، ء ، هـ المحصورة بين الأتجاهات ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ .

المجموعة الثانية : الزوايا و ، س ، ص ، ع ، ل ، ك المحصورة بين الأتجاهات ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ ، ١٠ ، ١١ ، ١ .

بالنسبة للمجموعة الأولى .

$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{٦ \times ٥}{٢} = ١٥$$

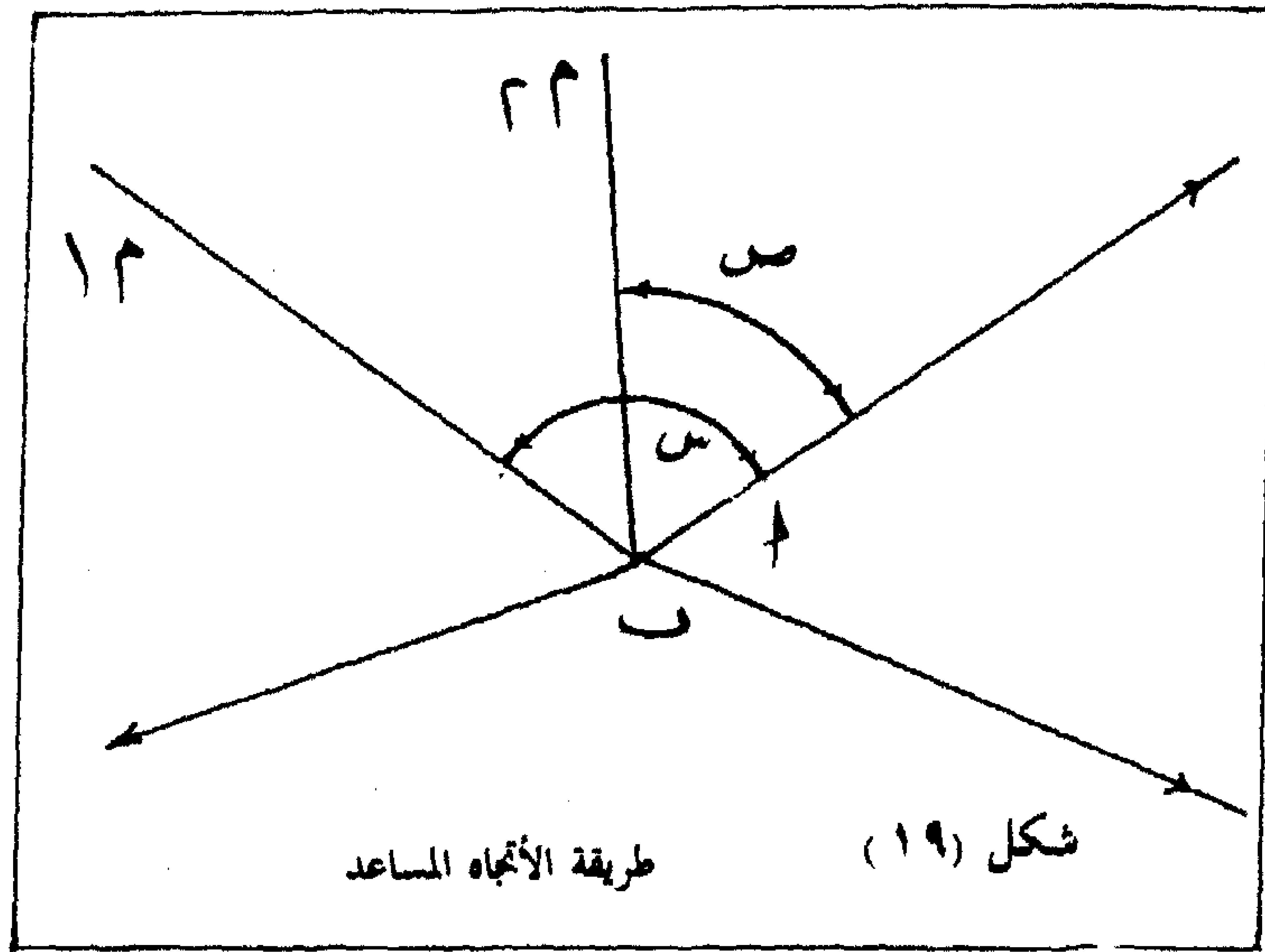
بالنسبة للمجموعة الثانية

$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{٧ \times ٦}{٢} = ٢١$$

ثالثاً : طريقة الأتجاه المساعد (Auxiliary Direction)

تستخدم هذه الطريقة إذا كان عدد الإتجاهات أقل أو مساوياً لثلاثة إتجاهات محصور بينها زاويتين — فبطريقة كل الإتجاهات نستطيع أن نكوّن ٣ معادلات رصد . ولما كانت القيمة الأكثر إحتمالاً تزداد دقة كلما زاد عدد معادلات الرصد لذلك وجب علينا أن نزيد عدد معادلات الرصد فى هذه الحالة عن ٣ معادلات وذلك بإستخدام اتجاه مساعد (اتجاه اختيارى) شكل (١٩) وبذلك يكون عدد معادلات الرصد هو ٦ معادلات أى الضعف ومنها يمكن تعيين قيمة أكثر احتمالاً للزاويتين المطلوبتين بين الثلاث اتجاهات الأصلية ا ، ب ولزيادة الدقة ، يؤخذ اتجاه آخر نكون منه مع الأتجاهات الأصلية (دون إدخال الاتجاه المساعد الأول فى الحساب) ٦ معادلات رصدية أخرى منها نعين القيمة الأحتمالية للزاويتين ا ، ب وبأخذ متوسط القيمتين الأحتماليتين ا ، ب نحصل على أقرب قيمة محتملة للزاوية الصحيحة . ونعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق استخداماً فى شبكات المثلثات من نوع السلاسل المفردة لقلة الأتجاهات المرصودة بها — كما هو الحال فى سلاسل الوجه القبلى .

وبإستخدام الإتجاه $م_١$ تكون معادلات الرصد .



شكل (١٩) طريقة الأتجاه المساعد

س =	ا =	ب =
س + ا =	ا + ب =	
س + ا + ب =		

وبإستخدام الإتجاه $م_2$ تكون معادلات الرصد .

ص =	ا =	ب =
ص + ا =	ا + ب =	
ص + ا + ب =		

مميزات هذه الطريقة :

١ ــ إستخدام كل الإتجاهات كإتجاهات أساسية .

٢ ــ زيادة عدد معادلات الرصد والمعادلات الشرطية وخصوصاً إذا كانت الإتجاهات كثيرة نسبياً وهذا مما يقربنا من قيم أكثر إحتمالاً للزوايا .

٣ ــ التقليل من الأخطاء الآلية والمنتظمة .

رابعاً ــ طريقة توميلين : (Tomilin)

وهي تستخدم أيضاً فى رصد الزوايا المحصورة عند نقط مثلثات الدرجة الأولى . ويتم الرصد بها كالتالى :

١ ــ فى هذه الطريقة أختصرت معادلات الرصد لمجموعة من الأتجاهات عددها (ن) لكى تصبح (٢ ن) فقط وذلك بقياس جميع الزوايا المحصورة بين أى إتجاهين متجاورين والزوايا المحصورة بين الإتجاه الأول والثالث ، ثم الثالث والخامس وهكذا .

٢ ــ يكرر القياس للزوايا المحصورة بين الإتجاه الثانى والرابع ثم الرابع والسادس . الخ .

فعند محطة الرصد (و) ذات سبعة إتجاهات شكل (٢٠) تكون الزوايا المقاسة هى ١ ــ ٢ ، ٢ ــ ٣ ، ٣ ــ ٤ ، ٤ ــ ٥ ، ٥ ــ ٦ ، ٦ ــ ٧ ، ٧ ــ ١ .

ثم ١ ــ ٣ ، ٣ ــ ٥ ، ٥ ــ ٧ ، ٧ ــ ٢ .

ثم ٢ ــ ٤ ، ٤ ــ ٦ ، ٦ ــ ١ .

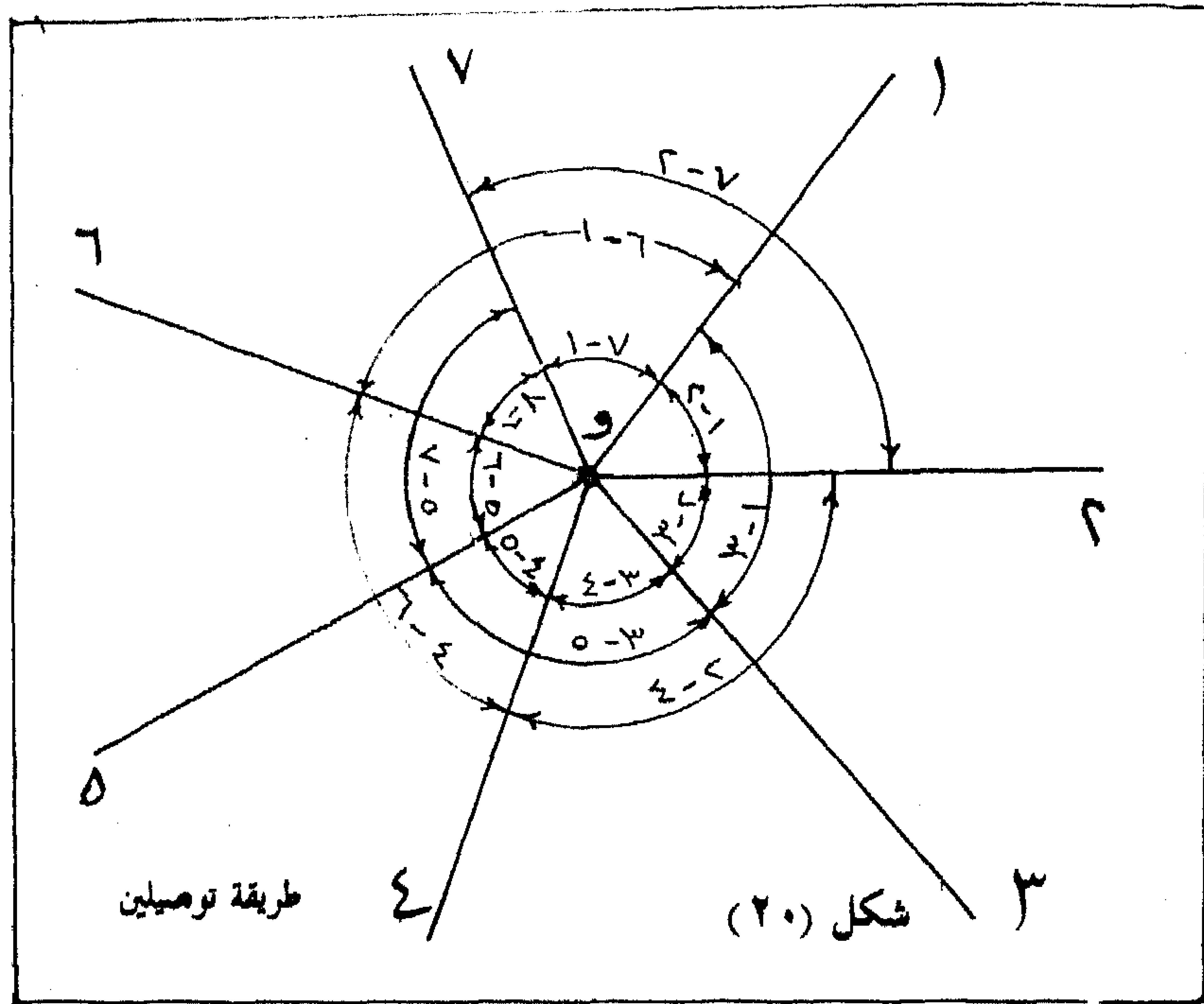
وبذلك يكون عدد معادلات الرصد = ١٤ = ٢ ن

عدد الزوايا المطلوبة = ٧ = ن

ونلاحظ أنه بين الزوايا المقاسة بهذه الطريقة الإرتباط الآتى :

ا ــ مجموع الزاويتين (١ ــ ٢) ، (٢ ــ ٣) ــ (٢ ــ ٣) ، (٣ ــ ٤) ــ (٦ ــ ٧) ، (٧ ــ ١) ــ (٧ ــ ١) ، (١ ــ ٢) يجب أن يساوى الزوايا (١ ــ ٣) ، (٢ ــ ٤) ، (٦ ــ ١) ، (٧ ــ ٢) .

ب ــ مجموع جميع الزوايا المحصورة بين الإتجاهات المتتالية يجب أن يساوى



شكل (٢٠)

٥٣٦٠ . وللحصول على القيم المصححة للزوايا المحصورة عند نقطة الرصد تستخدم المعادلات الشرطية والتى عددها يساوى عدد الزوايا المقاسة بالإضافة إلى المعادلة الشرطية الخاصة بقفل الأفق . فإذا كان عدد الإتجاهات المرصودة (ﻫ) فإن :

عدد معادلات الرصد = ٢ ﻫ	...... (٣)
عدد المعادلات الشرطية = ﻫ + ١	...... (٤)

خامساً ــ طريقة الزوايا المفردة : (Single angle)

أستخدمت هذه الطريقة فى تشيكوسلوفاكيا . وتعتمد هذه الطريقة أساساً على إمكان التغلب على جميع الأخطاء الآلية والشخصية والطبيعية معاً ــ فلإمكان التغلب على الأخطاء الآلية يرصد كل إتجاه على ورنيتين ، ومتيامن ومتياسر وعلى أقواس مختلفة حددت بأن تكون ١٦ قوساً . ويستخدم فى ذلك ثلاث أجهزة مختلفة .

ولإمكان التغلب على الأخطاء الشخصية يقوم بالرصد راصدان .

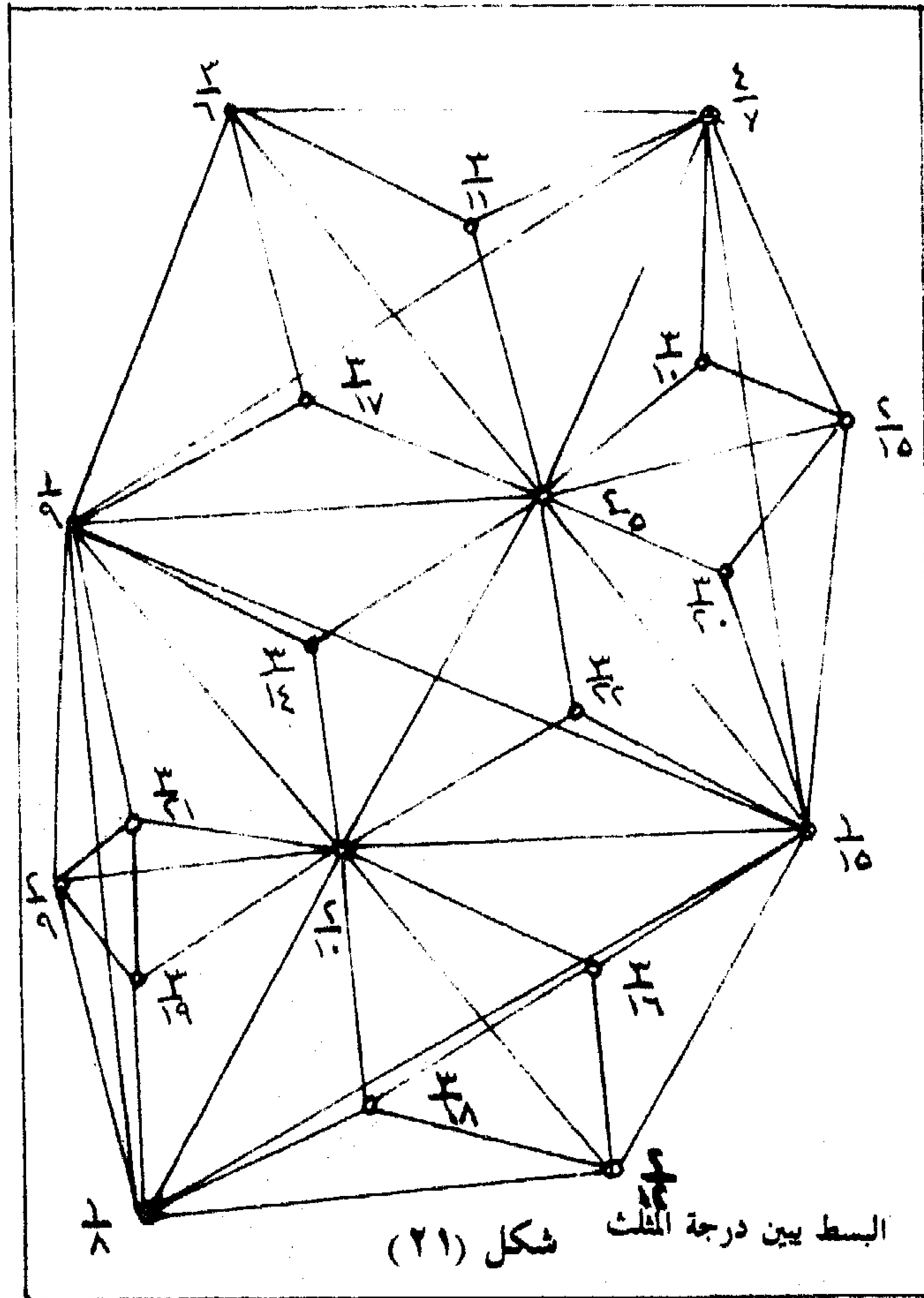
ولإمكان التغلب على الأخطاء الطبيعية يتم الرصد فى أوقات مختلفة من النهار وإن كان أحسن أوقات الرصد هى صباحاً قبل وأثناء طلوع الشمس ومساء قبل الغروب وفى هذه الطريقة يمكن أخذ ٣٨٤ قراءة عند كل إتجاه مرصود على النحو الآتى :

قراءة ورنيتين	٢
متيامن ومتياسر	٢
أقواس مختلفة	١٦
أجهزة مختلفة	٣
راصدون	٢

وبالتالى يكون عدد القراءات إليكم ٣٨٤ قراءة

سادساً ــ طريقة القطاعات : (Sectors)

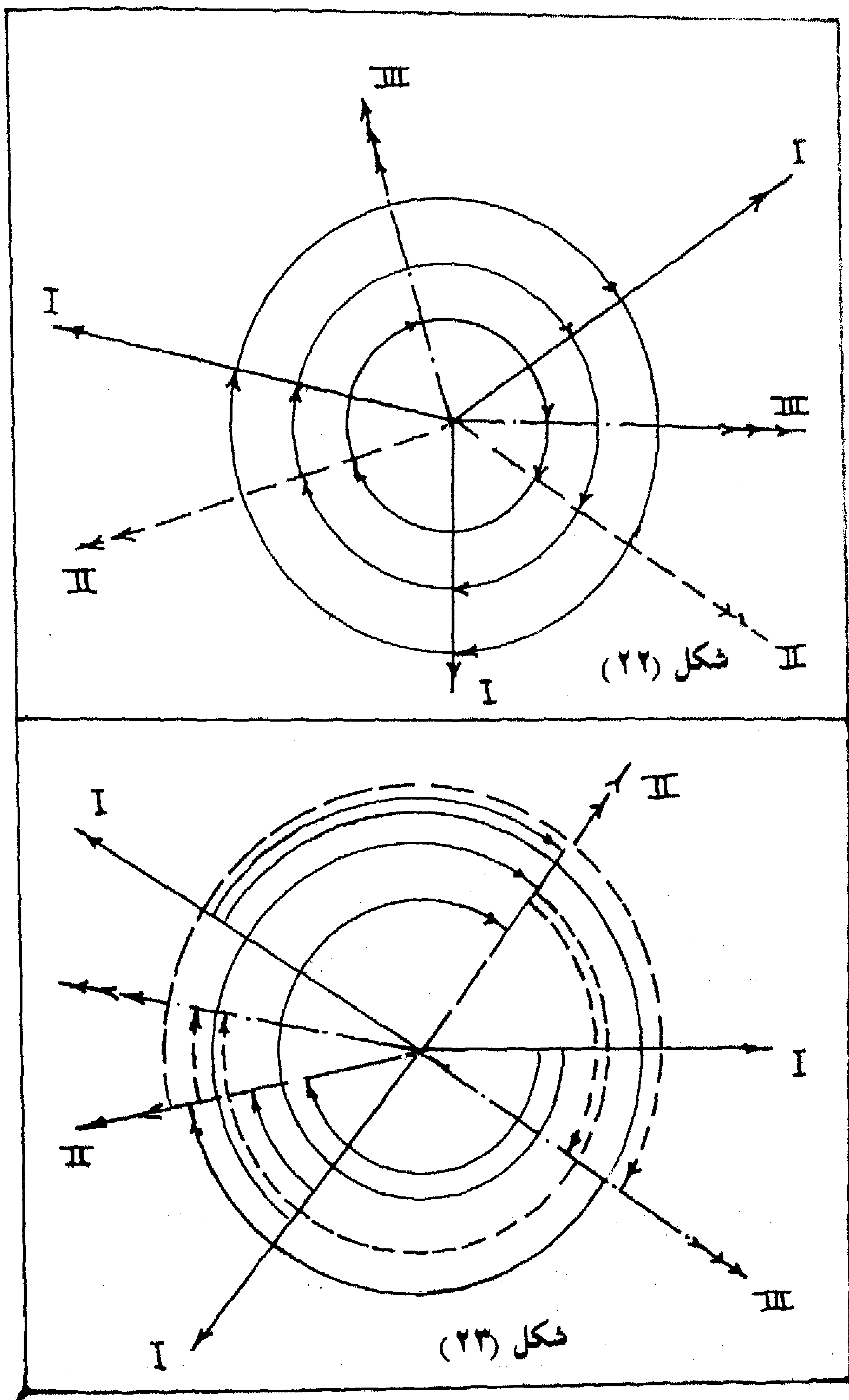
وهذا الطريقة مستعملة فى سويسرا ، وهى الطريقة المستخدمة لقياس الأتجاهات إلى نقط مثلثات مختلفة الدرجات وتستخدم إحدى الطريقتين التاليتين شكل (٢١) .



شكل (٢١)

ا ـــ طريقة قفل الأفق بين اتجاهات نقط الدرجة الأولى . ثم نقط الدرجة الأولى والثانية فقط ثم نقط الدرجة الثانية والثالثة شكل (٢٢) .

ب ـــ طريقة جاوس فتؤخذ الاتجاهات إلى نقط الدرجة الأولى كاتجاهات أساس مع اتجاهات نقط الدرجة الثانية فقط ثم نأخذ اتجاهات الدرجة الثانية كاتجاهات أساسية مع اتجاهات الدرجة الثالثة شكل (٢٣) .


III
I
I
III
II
II
I
شكل (٢٢)
I
II
I
II
I
III
I
شكل (٢٣)

تمارين

١ ــ قيست مجموعة من الأتجاهات بطريقة توميلين وكل الأتجاهات فكان الفرق بين عدد الأرصاد فى الطريقتين مساوياً لعدد الأتجاهات . ماعدد هذه الاتجاهات . حدد عدد المعادلات الشرطية فى كل طريقة .

٢ ــ أقترح طريقة لرصد سلاسل مثلثات الوجه القبلى وعلل .

٣ ــ مجموعة من الأتجاهات متفرعة من نقطة ــ قيست بطريقة كل الأتجاهات وتوميلين فكانت الأرصاد متساوية فى الطريقتين .

ما عدد هذه الأتجاهات . وما عدد الشروط فى كل حالة مع كتابة هذه الشروط .

الباب الثالث

الضبط الدائم للتيودوليت

عند إستخدام جهاز التيودوليت فى قياس الزوايا الأفقية أو الرأسية يجب أن تكون جميع حركات الجهاز الدائرية فى المستويين الرأسى والأفقى الحقيقيين طبقاً لتصميم الجهاز ، وهذا ما يعرف بالشروط الدائمة .

إن ضبط المحاور المختلفة للتيودوليت له أهمية كبيرة للحصول على أحسن أداء للجهاز من حيث الأرصاد وأنواعها المختلفة . ويتفاوت مدى تأثير عدم الضبط طبقاً لنوعيه المحاور ومدى الخطأ فيها وكذلك نوعيه الأرصاد وقيمها العددية .

ويحتوى التيودوليت على مجموعتين من المحاور المتعامدة الأولى منها لتنظيم التحركات فى المستوى الأفقى والثانية لتنظيم التحركات فى المستوى الرأسى .

ويختلف إجراء الضبط إختلافاً طفيفاً من جهاز لآخر ولكن المهندس لا يجد صعوبة فى معرفة الفروق الطفيفة عند معالجته للأنواع المختلفة من التيودوليت وللتحقق من توافر الشروط يجرى الضبط الدائم .

أنواع الضبط الدائم

يوجد نوعان من الضبط الدائم .

I ــ ما يمكن إجراؤه فى الغيط : Adjustable Parts

يصحح العيب إما بفك مسمار بالجهاز أو بربط آخر لتعديل أوضاع بعض أجزاء أو محاور الجهاز .

II ــ ما يجرى فى المصنع : Non-Adjustable Parts

وهى تكون شروط أصلية فى صناعة الجهاز ولا يمكن تصحيح العيب أو

الخلل إلا فى المصنع . ويمكن تلافيها أو الإقلال من تأثيرها باتباع برامج خاصة فى الرصد وفى الحسابات .

تعليمات هامة أثناء أجراء الضبط :

١ ــ يجب إجراء الضبط بالترتيب المبين لأن بعض أنواع الضبط تؤثر على البعض الآخر وتغيره .

٢ ــ لا يجرى الضبط والجهاز معرض للشمس خاصة إذا كان التعرض من جانب واحد للجهاز ، ويحسن أن يظلل الجهاز أو يكون الضبط فى يوم مغيم .

٣ ــ لا تحاول أن تضبط كل شرط تماماً من أول مرة ، فقد يؤثر ضبط أحد الشروط على شرط أو أكثر من الشروط السابق ضبطها كما يجب أن تعاد كلها أكثر من مرة . والأفضل أن يعاد الضبط على الأقل ثلاث مرات .

٤ ــ لا تربط المسامير بشدة أو الضغط عليها أكثر من اللازم ، فإن هذا قد يتلف الجهاز والمسامير ويسبب نعومتها أيضاً ، ولا يجعل الضبط يدوم مدة طويلة .

I ــ الضبط الدائم للشروط التى تجرى فى الغيط

للتيودوليت خمسة محاور رئيسية كما هو مبين فى شكل (٢٤) يتوقف على ضبطها الضبط الدائم للتيودوليت وهى :

١ ــ المحور الرأسى لدوران الجهاز : (Vertical axis) (V - V)

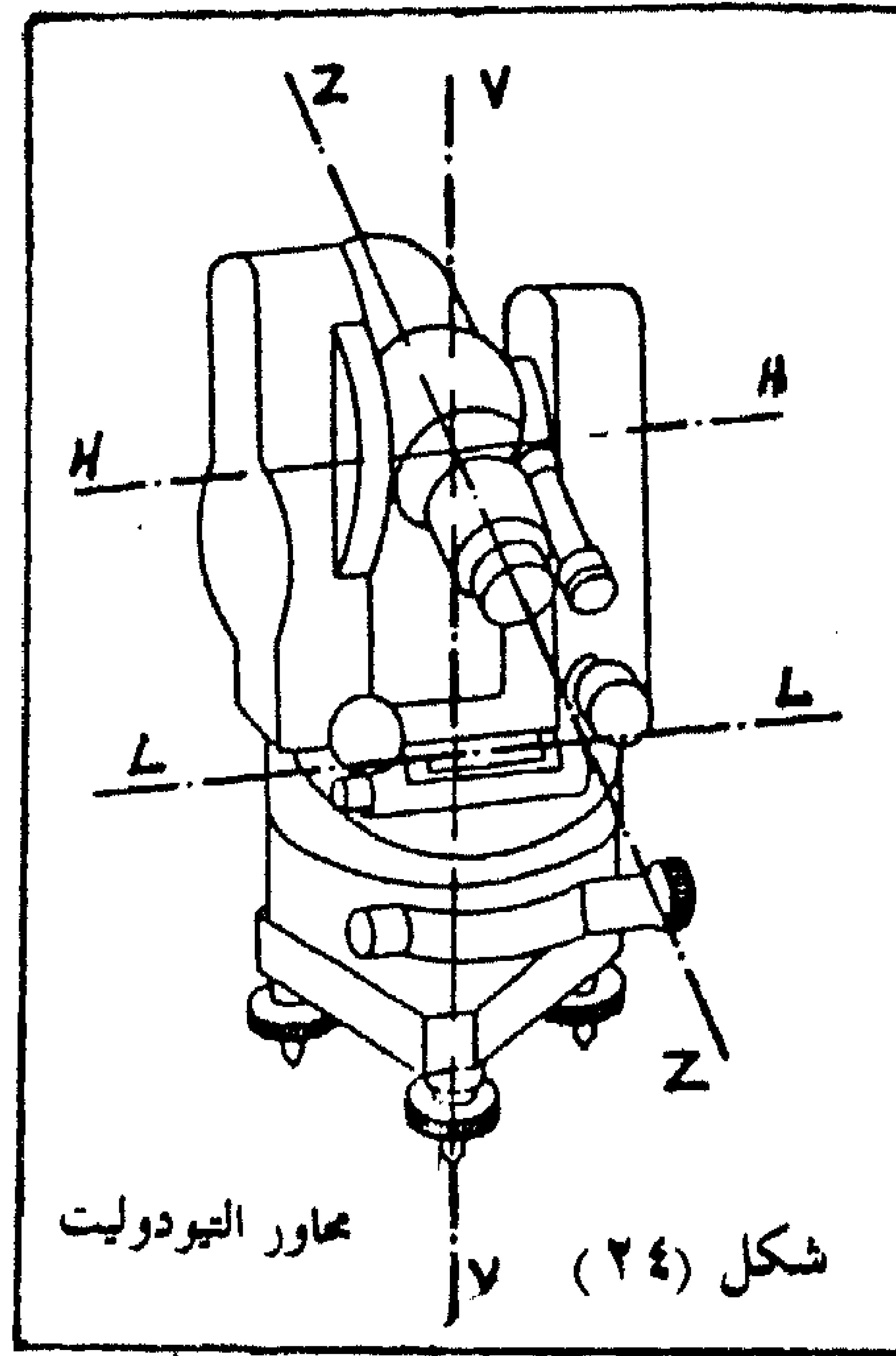
٢ ــ محور ميزان التسوية الطولى المثبت فوق الدائرة الأفقية (L - L)

٣ ــ خط الانطباق أى خط إنطباق المحور البصرى على خط النظر (Z - Z)

٤ ــ المحور الأفقى لدوران المنظار : (Trumnion axis) (H - H)

وهو المحور الذى يدور حوله المنظار فى المستوى الرأسى .

٥ ــ محور ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية (A - A)



شكل (٢٤) محاور التيودوليت

ويجب أن يجرى ضبط الشروط حسب الترتيب ويكرر الضبط . والشروط الدائمة هى :

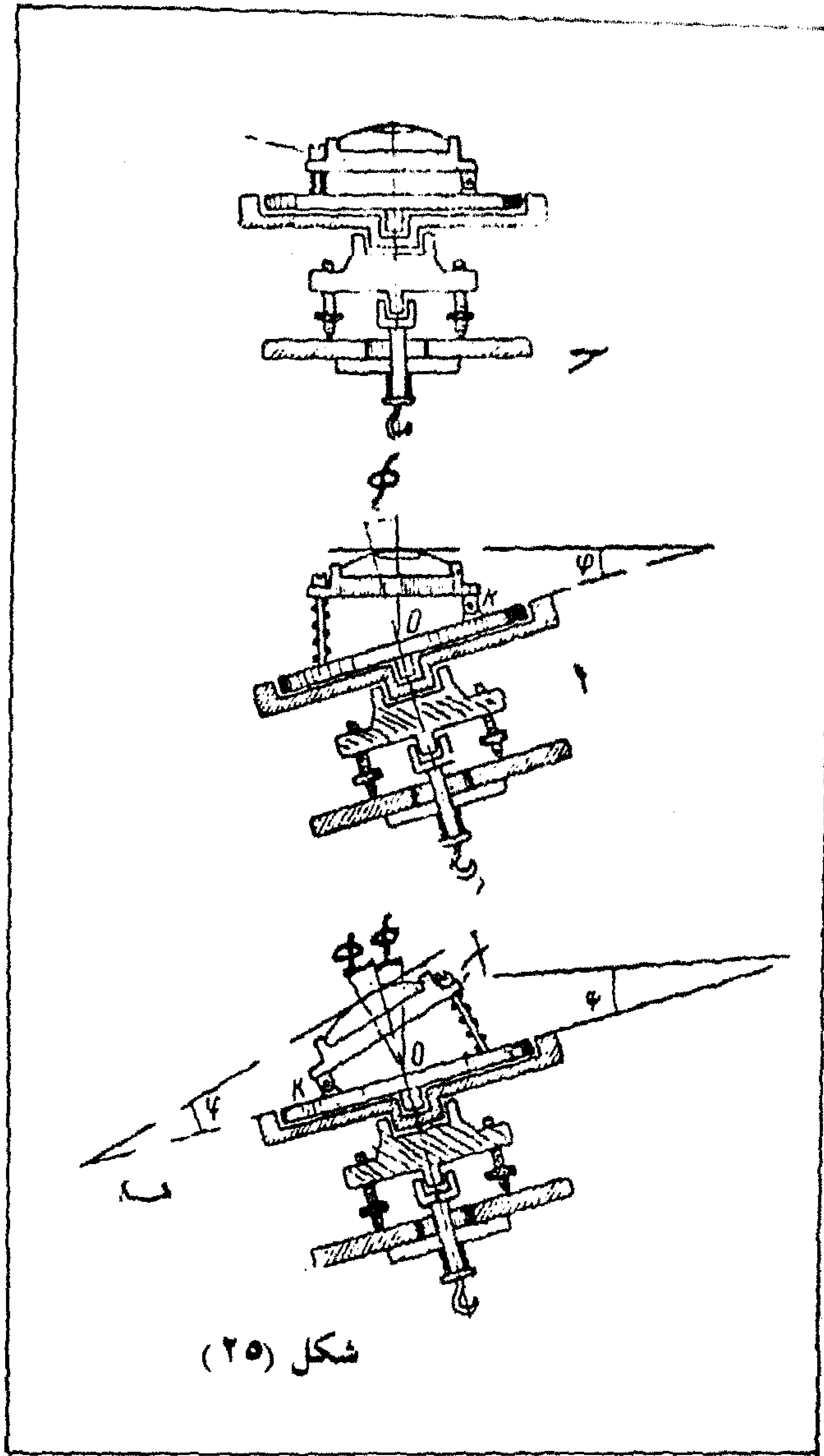
الشرط الأول ــ تعامد محور ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية على المحور الرأسى لدوران الجهاز (LL ⊥ VV)

ا ــ ضرورته :

يجب أن يكون محور ميزان التسوية موازياً للقرص الأفقى بحيث إذا كان هذا المحور أفقى تماماً أصبح المحور الرأسى لدوران الجهاز رأسى تماماً .

ب ــ ضبطه :

١ ــ نثبت الجهاز فوق الحامل ثم نجعل الفقيعة فى منتصف مجراها بمسامير التسوية (٢٥ ــ ا) .



شكل (٢٥)

٢ ـ ندير الأليداد ١٨٠° فإن ظلت الفقيعة فى منتصف مجراها كان الميزان مضبوطاً أى أن محوره عمودى على المحور الرأسى .

٣ ـ أما إذا إنحرفت الفقيعة ٢ ϕ من الأقسام شكل (٢٥ ـ ب) فنصحح نصف الخطأ بمسمار ضبط ميزان التسوية فنرفع أو نخفض صواميل

هذا الميزان حتى يتحرك مركز الفقيعة ويعود نحو منتصف المجرى ϕ من الأقسام ويصحح النصف الثانى بمسامير التسوية شكل (٢٥ ــ حـ) وبذا يتوفر الشرط ويكون $LL \perp VV$.

حـ ــ تأثيره :

١ ــ يؤثر أساساً على دقة قياس الزوايا الأفقية كما يؤثر أيضاً على الزوايا الرأسية ، إذ أن القياس يكون فى مستوى مائل غير أفقى تماماً ، أو رأسى تماماً ، لأنه بينما تكون الفقيعة فى منتصف مجراها تكون الدائرة الأفقية مائلة وكذلك الدائرة الرأسية ، وبذا فإن الزاوية التى يحصل عليها فى مستوى مائل تكون أكبر من حقيقتها التى فى المستوى الأفقى أو فى المستوى الرأسى . ويتوقف مدى التأثير فى الزوايا الأفقية على مقدار أختلاف الزاويتين الرأسيتين لضلعى الزاوية المرصودة .

ا ــ حالة تساوى الزاويتين الرأسيتين :

نفرض فى شكل (٢٦) أن ا ب حـ الزاوية الأفقية المطلوب قياسها . نضع الجهاز فوق (ب) ونوجه إلى (ا) نحرك المنظار حتى نرصد (حـ) .

هـ = ا ب حـ = الزاوية الأفقية الصحيحة

$هـ_1$ = ا ب $حـ_1$ = الزاوية الأفقية المقيسة

م = ميل القرص عن المستوى الأفقى .

نوجد م من حساسية الجهاز ، فعندما تنحرف الفقيعة ٢ ھ من الأقسام فإن :

م = ھ × حساسية الجهاز

...... (٥)

$$ظا هـ = \frac{حـ و}{و ب} = \frac{حـ و}{حـ_1 و} \cdot \frac{حـ_1 و}{و ب}$$

ظا هـ = جتا م . ظا هـ ١

ظا الزاوية الأفقية الصحيحة = جتا زاوية ميل القرص. ظا الزاوية الأفقية المقيسة

(٦) ....

ونلاحظ أن هـ ١ تزيد كلما زادت (م) أى أن الخطأ يتزايد مع تزايد (م) ويتلاشى إذا كانت م = صفر .

هذه العلاقة صحيحة كما ذكرنا إذا كانت زاويتا إرتفاع ا ، حـ متساويتين (ليس من الضرورى أن يكون ا ، حـ فى منسوب واحد) .

حالة إختلاف الزاويتين الرأسيتين :

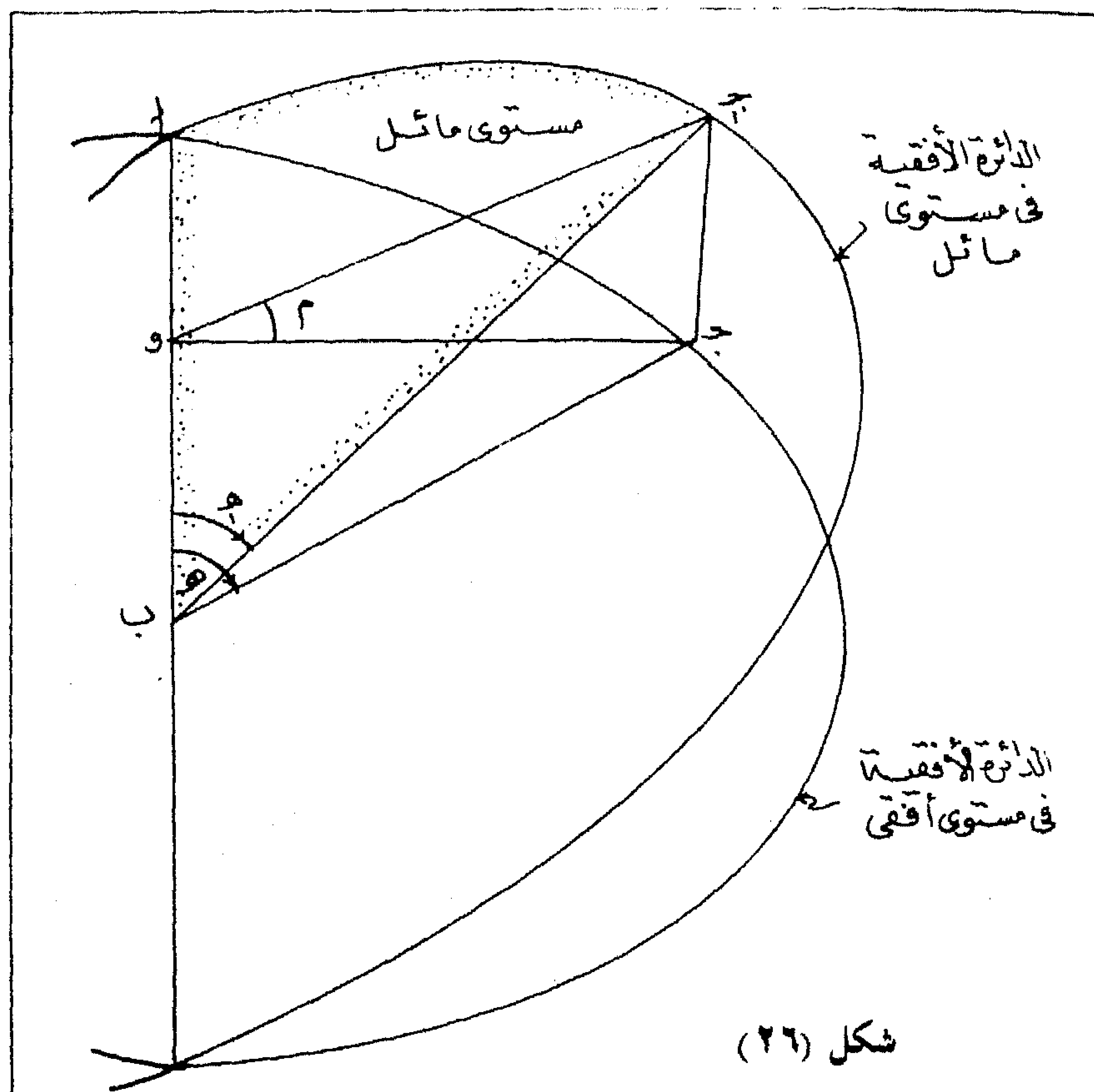
إذا أختلفت الزاويتان الرأسيتان لضلعى الزاوية الأفقية المرصودة فإن الخطأ يزداد بأزدياد الفرق بين هذه الزوايا الرأسية ويكون التأثير على الاتجاهين ا ب ، ب حـ ، وبالتالى على الزاوية ا ب حـ ، وتبعاً للزوايا الرأسية هذه . وبتطبيق المعادلة (٨) نحصل على محصلة الخطأ فى الأتجاهين كما سنبين بعد فى المثالين الخاصين بهذه المعادلة .

وإجمالاً فإنه يمكن الحصول على الزاوية الأفقية الحقيقية أولا كما لو كانت الزوايا ا ، حـ الرأسية متساوية ثم نطبق التصحيح على هذه الزاوية من المعادلة (٧) كما سيأتى على كل من الاتجاهين ا ب ، ب حـ بالأشارة الجبرية لكل تصحيح .

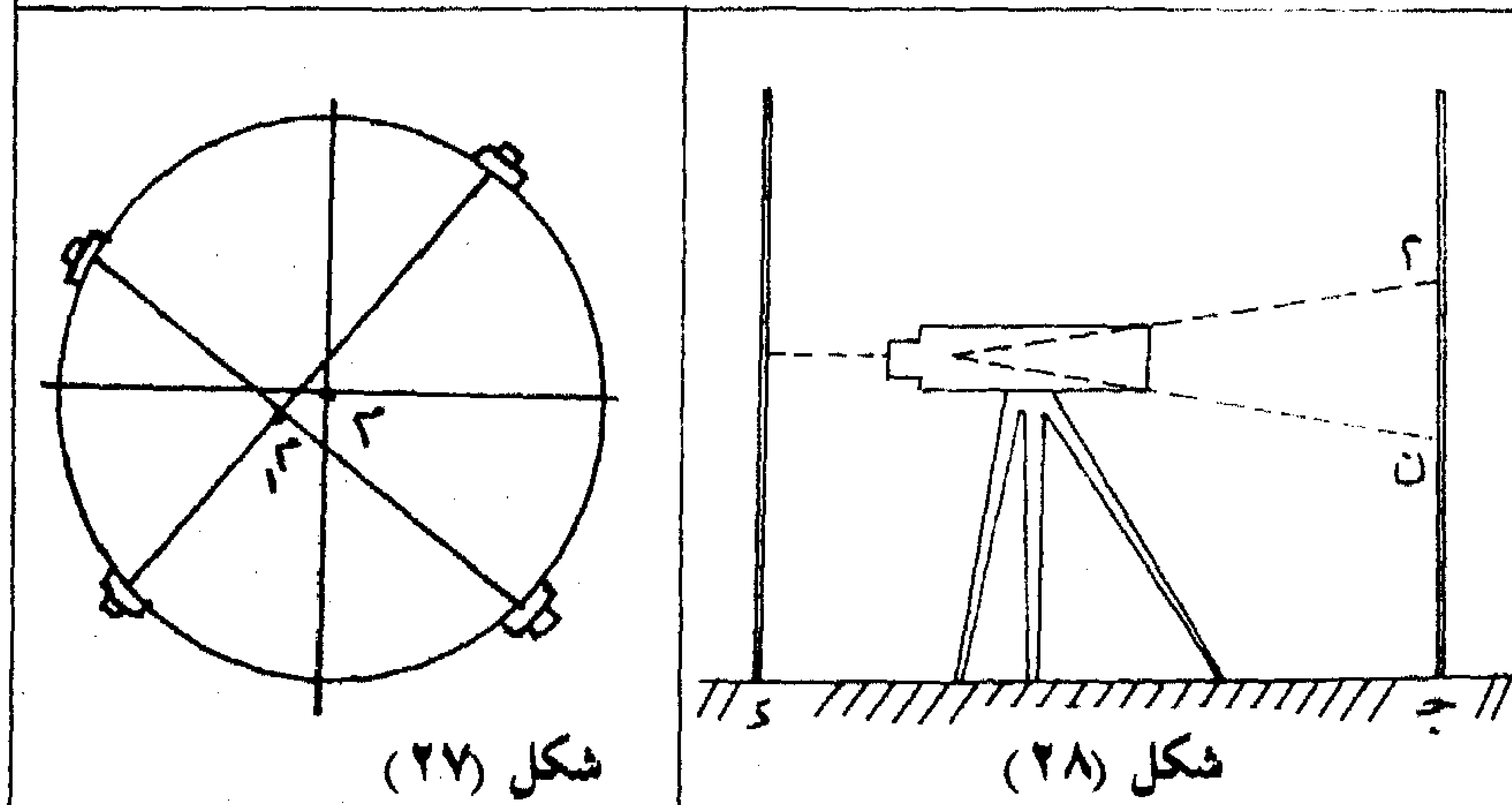
ظا و = ظا م قا ط .... (٧)

حيث و = الخطأ فى اتجاه الضلع

م = كما سبق



شكل (٢٦)



شكل (٢٧)

شكل (٢٨)

ط = الزاوية الرأسية أرتفاع أو انخفاض

الزاوية الأفقية الصحيحة = ظا$^{-1}$ (ظا م قا ط$_1$) + ظا$^{-1}$ (ظا م قا ط$_2$)

.... (٨)

وقد أجرى بحث فى مدى هذا التأثير فوجد ما يلى :

١ ــ فى حالة تساوى الزاويتين الرأسيتين .

يمكن إهمال ميل القرص فى المدى العملى فى قياسات الزوايا الأفقية ما عدا فى الشبكات المثلثية الدقيقة كحالة الدرجة الأولى حيث يتطلب الأمر دقة ٠,٠١ من الثانية فى الزاوية الأفقية .

٢ ــ فى حالة اختلاف الزاويتين الرأسيتين .

ا ــ فى جميع حالات أختلاف الزوايا الرأسية فإن الخطأ له أهمية كبيرة تصل فى الحالات العملية إلى ١٦ دقيقة . ولذا يجب الأعتناء التام فى ضبط الفقيعة .

ب ــ الخطأ فى الزاوية الأفقية يتناسب طردياً مع زاوية ميل القرص الأفقى .

حـ ــ يزداد الخطأ فى الزاوية الأفقية فى حالة الزوايا الرأسية الكبيرة لنفس الزاويتين الرأسيتين الأقل قيمة فمثلاً فى حالة ٦٠°، ٥٠° مع ميل للقرص ٤ دقائق فالخطأ يساوى ٤٧″ بينما فى حالة ١٠°، صفر° لنفس ميل القرص فالخطأ ٤ ثوانى تقريباً .

د ــ تزداد أهمية ضبط الفقيعة فى حالة أن تكون إحدى الزاويتين ارتفاع والأخرى انخفاض وذلك بالمقارنة بحالة أن تكون كلتاهما ارتفاع أو أنخفاض ولنفس الفارق .

فمثلاً فى حالة ميل القرص ٤ دقائق ولزاويتى (+ ١٠°، − ١٠°) فالخطأ ٩″ تقريباً بينما فى حالة (٦٠°، ٤٠°) فالخطأ ٣ دقائق تقريباً .

د ــ تلافيه :

لا يمكن تلافيه إلا بأجراء الضبط ، ولا يؤثر الرصد بالوجهين المتيامن والمتياسر على تصحيح هذا الخطأ .

الشرط الثانى ــ انطباق خط النظر على المحور البصرى وتعامده على المحور الأفقى (ZZ ⊥ HH)

خط النظر هو الخط الواصل بين مركز الشيئية ونقطة تقاطع الشعرات ، أما المحور البصرى فهو الخط الواصل بين مركزى الشيئية والعينية . ويجب أن ينطبق الخطان ، والخط الناتج من تطابقهما يسمى (خط الأنطباق) (Line of Collination) .

ولأستيفاء هذه الشروط يجب أن تقع نقطة تقاطع الشعرات على المحور البصرى . ولأجراء صحة خط الأنطباق يجب أن نختبر الشعرتين الأفقية والرأسية فى منظار الجهاز ، كل واحدة منها على حدة . ولضبط موضع نقطة تقاطع الشعرات من $م_1$ إلى م شكل (٢٧) فيتم ذلك بضبط الشعرة الأفقية من حيث الأمالة ثم زحزحتها إلى م وبالمثل الشعرة الرأسية (إمالة وزحزحة) .

١ ــ ضبط الشعرة الأفقية :

ا ــ ضرورته :

أن تصبح الشعرة أفقية تماماً ومارة بالمحور البصرى ، وإلا كان خط النظر غير أفقى عند ضبط أفقية الجهاز والمنظار ، ويكون خط النظر مائلاً إلى أعلى أو إلى أسفل .

ب ــ ضبط أفقية الشعرة (الأمالة) :

يثبت الجهاز فى أرض صلبة ويضبط أفقياً تماماً ، نضع قامة رأسية على بعد مناسب ونرصد التدريج الذى تنطبق عليه الشعرة . ندير الجهاز ببطء حول محوره الرأسى فإن ظلت الشعرة الأفقية منطبقة على تدريج القامة الأفقية كانت

الشعرة أفقية تماماً . (ويمكن أن نحدد نقطة على حائط بدلاً من القامة) فإذا كانت الشعرة غير أفقية تفك مسامير حامل الشعرات وندير الحامل حتى نستوفى الشروط .

حـ ــ ضبط مرور الشعرة بالمحور البصرى (الزحزحة)

١ ــ توضع قامتان فى حـ ، ى على بعد ٥٠ أو ١٠٠ متر تقريباً من بعض شكل (٢٨) نثبت التيودوليت أفقياً وقريباً جداً من إحدى النقطتين ولتكن (ى) .

٢ ــ نربط جميع المسامير ونقرأ القامة فى (حـ) ولتكن القراءة (م) .

٣ ــ ننظر خلال الشيئية ونقرأ القامة (ى) .

٤ ــ ندير المنظار حول محوره الأفقى ١٨٠° ثم حول محوره الرأسى .

٥ ــ نحرك المنظار بمسمار الحركة البطيئة للمنظار حتى نقرأ على (ى) نفس القراءة الأولى وذلك خلال الشيئية ، ثم نأخذ القراءة على القامة (حـ) ولتكن (هـ) .

٦ ــ إذا كانت (م) تساوى (هـ) كان الشرط مستوفياً ، وإلا نفك مسمار حامل الشعرات العلوى ونربط السفلى أو العكس ، ونحرك حامل الشعرات إلى أعلى أو إلى أسفل حتى نحصل على متوسط القراءتين $\frac{1}{2}$ (م + هـ) للحصول على قراءة أقل نرفع حامل الشعرات بفك المسمار العلوى والربط على السفلى أو بالعكس للحصول على قراءة أزيد ، وذلك بشرط ربط المسمارين الأيمن والأيسر .

٧ ــ تكرر العملية عدة مرات .

تأثيـــره :

يؤثر على الزوايا الرأسية فقط حيث أن الشعرة الأفقية هى المحددة أصلاً للأرتفاع .

تلافيه :

يمكن تلافيه بالضبط أو بالرصد متيامن أو متياسر ثم أخذ المتوسط .

٢ ــ ضبط الشعرة الرأسية :

ا ــ ضبط رأسية الشعرة (الأمالة) :

١ ــ حيث أن الشعرتين متعامدتان تماماً . فبعملية ضبط أفقية الشعرة الأفقية نكون قد أستوفينا الشروط .

٢ ــ يمكن أن نتأكد من صحة ذلك بأن نضبط الجهاز أفقياً ونرصد أعلى نقطة فى خيط شاغول يتدلى من أعلى بناء .

٣ ــ نربط مسامير الحركة الأفقية ، ونحرك المنظار إلى أسفل ونلاحظ أنطباق الشعرة على طول الخيط أثناء دوران المنظار حول محوره الأفقى ، أو نضع علامة وندير المنظار حول محوره الأفقى بعد ربط مسامير الحركة الأفقية فيجب أن تنطبق هذه العلامة دائماً على الشعرة أثناء دوران المنظار . وإن لم تنطبق فستظهر أثناء الدوران كما فى شكل (٢٧) .

٤ ــ يصحح الخطأ بفك مسامير حامل الشعرات وإدارته فى الاتجاه المطلوب (فى حالة الشكل تكون الإدارة فى اتجاه السهم) حتى تصبح الشعرة الرأسية منطبقة دائماً على العلامة أو خيط الشاغول أثناء دوران المنظار .

ب ــ ضبط مرور الشعرة بالمحور البصرى (الزحزحة)

ا ــ ضرورته :

لكى تصبح كل من الشعرة الرأسية والأفقية فى وضع تقع فيه نقطة تقاطعهما على المحور البصرى ، وبهذا يرسم خط النظر مستوياً رأسياً عند دوران المنظار حول المحور الأفقى وإلا رسم مخروطاً رأسه على المحور الأفقى . وأى مستوى رأسى يقطع هذا المخروط فى نصفى قطع زائد .

ب ـــ ضبطه :

١ ـــ يثبت التيودوليت فى أرض مكشوفة مستوية لمسافة ١٠٠ متر تقريباً عند نقطة مثل س شكل (٢٩) . نوجه المنظار نحو شوكة فى ا على بعد ٥٠ متر تقريباً ونرصدها على الشعرة الرأسية .

٢ ـــ نربط كل مسامير الحركة الأفقية وندير المنظار حول محوره الأفقى ثم نعين نقطة مثل (ب) فى الجهة الأخرى وعلى البعد نفسه من الجهاز أى ٥٠ متراً تقريباً .

ملحوظـــة :

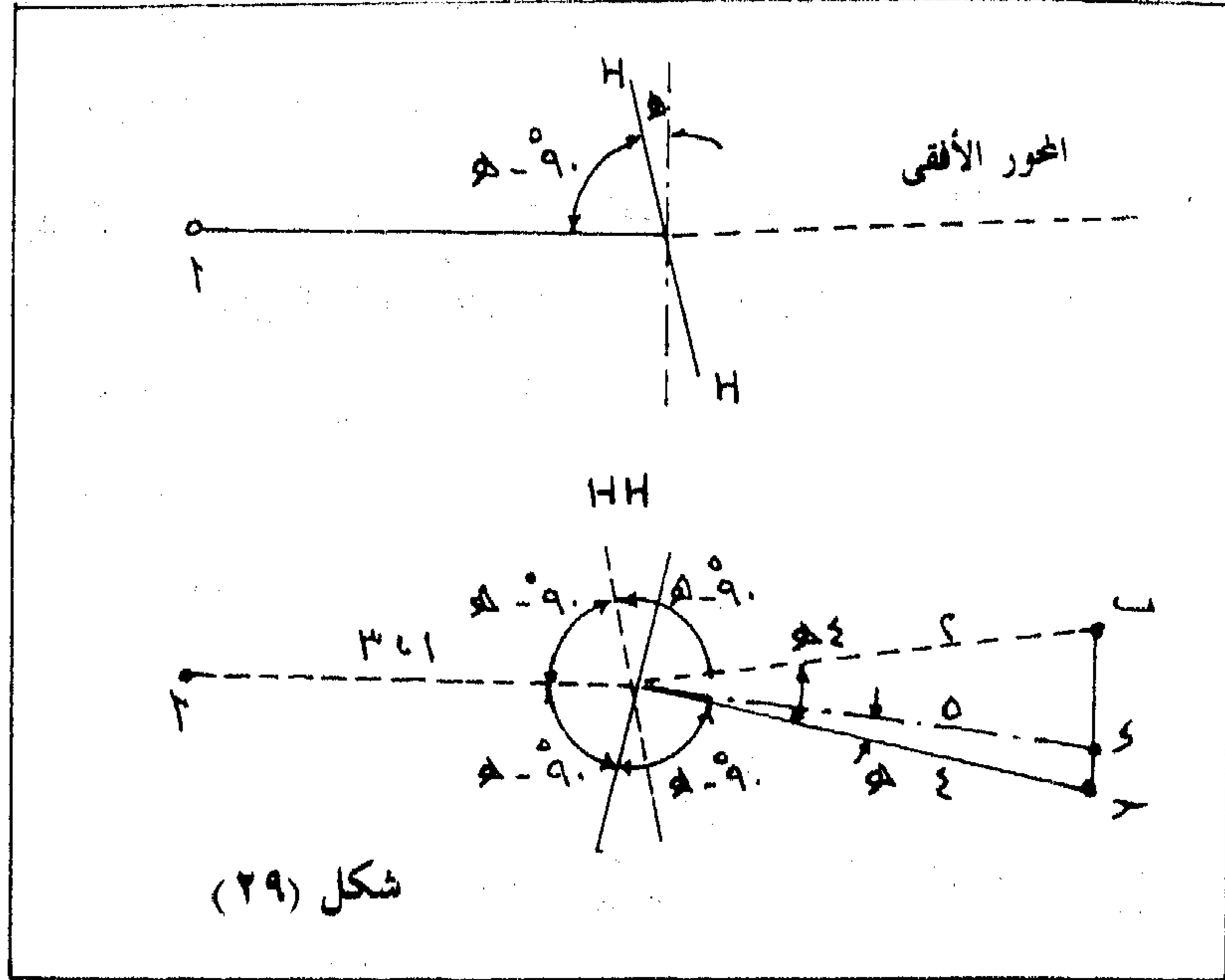
يجب أن تكون (ب) على زاوية إرتفاع ا تقريباً أحتياطياً ضد أحتمال عدم توافر الشرط الثالث الذى سيذكر فيما بعد .

٣ ـــ نفك مسمار ربط القرص العلوى بالحافة الأفقية وندير الجهاز حول محوره الرأسى ؛ ثم نرصد ا مرة أخرى ونربط المسمار ثانية .

٤ ـــ ندير المنظار حول محوره الأفقى ؛ فإذا رصدنا ب مرة أخرى كان خط النظر عمودياً على المحور الأفقى لدوران المنظار ، وإلا فنعين نقطة مثل حـ أمام ب أى على بعد من الجهاز يساوى بعد ب عنه ويكون ب حـ يساوى أربعة أمثال الخطأ الحقيقى أى يساوى (٤ هـ) وذلك لأننا عكسنا المنظار مرتين . ويسمى حـ ب (بالخطأ الظاهرى) .

٥ ـــ نعين موضع ء بين حـ ، ب بحيث تبعد عن حـ بمقدار يساوى $\frac{١}{٤}$ حـ ب .

٦ ـــ نحرك الشعرة الرأسية بواسطة مسمارى حامل الشعرات الأيمن والأيسر ، بفك أحدهما والربط على الآخر ، بعد ربط المسمارين العلوى والسفلى ، حتى نجعل الشعرة الرأسية ترصد ء .



شكل (٢٩)

٧ ـــ تكرر العملية كلها عدة مرات حتى تنطبق نقطتا ب ، حـ على بعض دائماً .

حـ ـــ تأثيره :

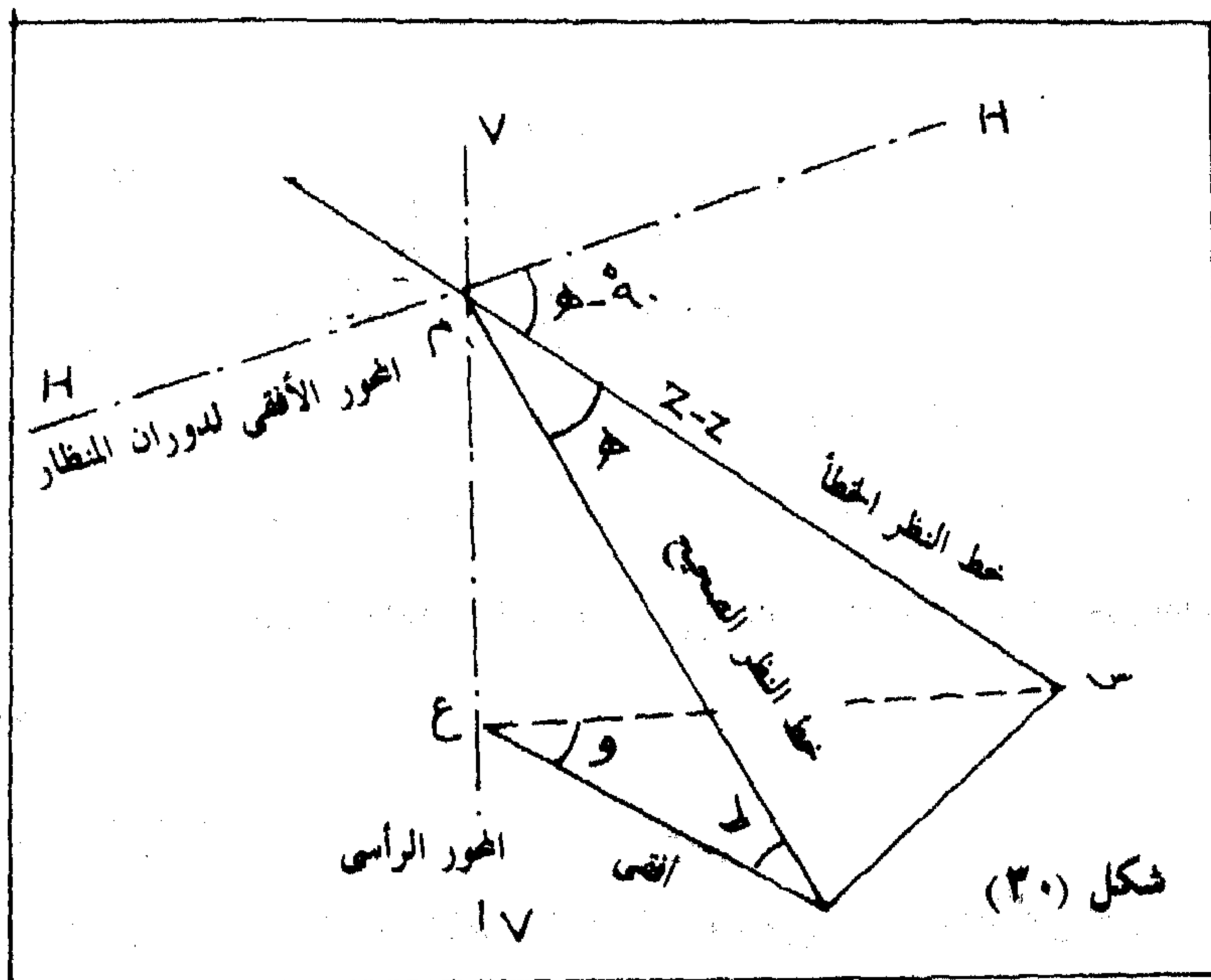
أولاً ـــ يؤثر فى الزوايا الأفقية المحددة بنقط على أبعاد مختلفة من الجهاز إذا كان التطبيق خارجى لأن خط النظر يتغير تبعاً لتغير موضع الشيئية عند التطبيق .

ثانياً ـــ يؤثر فى الزوايا الأفقية المحددة بنقط على زوايا رأسية مختلفة .

١ ـــ نفرض أن ا ، ب هما النقطتان المطلوب إيجاد الزاوية الأفقية بينهما والمحصورة عند الجهاز . لا يكون هناك أى خطأ فى الزاوية الأفقية نتيجة لعدم مرور الشعرة الرأسية بالمحور البصرى ، أى عدم تعامد خطر النظر مع المحور الأفقى لدوران المنظار ، إذا كانت الزاويتان الرأسيتان للنقطتين ا ، ب متساويتين ويزداد هذا الخطأ بازدياد الفرق بين هاتين الزاويتين الرأسيتين .

٢ ـــ نفرض الاتجاه م ص يميل على الأفقى بزاوية مقدارها (ط) (إرتفاع أو انخفاض) شكل (٣٠) .

فإذا كان خط الانطباق (خط محور المنظار) ينحرف بمقدار (هـ) فيكون مسقطه على مستوى الدائرة الأفقية هو س ع وليس ص ع . وبذا يكون الخطأ فى اتجاه م ص = س ع ص = الزاوية و .



شكل (٣٠)

ومن شكل (٣٠) .

ظا و = $\frac{\text{س ص}}{\text{ص ع}}$ ، ظا هـ = $\frac{\text{س ص}}{\text{ص م}}$

∴ س ص = ص م ظاهـ

ولكن ص م = ص ع قا ط

∴ ظا و = $\frac{\text{ص م ظا هـ}}{\text{ص م جتا ط}}$

ظا و = ظا هـ قا ط

(٩) ......

ونظراً لصغر كل من الزاويتين و ، هـ فيمكن كتابة المعادلة على الصورة

و″ = هـ″ قا ط

(١٠) ......

حيث و = الخطأ فى الاتجاه للضلع .

هـ = زاوية انحراف خط النظر أفقياً بالنسبة للمحور البصرى .

ط = الزاوية الرأسية للضلع .

وعليه فيكون الخطأ فى قياس الزاوية الأفقية بين نقطتين زاويتا إرتفاعهما ط ، $ط_{١}$ = $ظا^{-١}$ (ظا هـ قا ط) ± $ظا^{-١}$ (ظا هـ قا $ط_{١}$) .

ويلاحظ أن المعادلات تتشابه فى حالة أولاً وثانياً فى شروط الضبط (أى ميل القرص وزاوية انحراف الشعرة الرأسية) .

وإذا كانت ط ، $ط_{١}$ أحدهما زاوية إرتفاع والأخرى إنخفاض فالخطأ يساوى المجموع وليس الفرق ، وعلى العموم فإن الخطأ فى كل إتجاه تتوقف إضافته أو طرحه من الزاوية على ثلاثة عوامل هى :

١ ـــ إنحراف الشعرة الرأسية ناحية اليمين أو اليسار بالنسبة لمحور الدوران .

٢ ـــ الزاوية الرأسية إذا كانت إرتفاع أم إنخفاض .

٣ ـــ ضلع الزاوية هل هو ناحية اليمين أو اليسار .

ثالثاً : يؤثر فى مد الخطوط أى حين نضطر إلى قلب المنظار (أنظر مد الخطوط وطريقة الضبط نفسه) .

وقد وجد من البحث السابق ذكره ما يلى :

١ ــ الخطأ فى الزاوية فى جميع الحالات له قيم كبيرة تصل فى بعض الحالات إلى أكثر من خمس درجات .

٢ ــ يتناسب الخطأ فى الزوايا الأفقية تناسباً طردياً مع زاوية انحراف الشعرة .

٣ ــ يزداد الخطأ فى الزاوية الأفقية فى حالة الزوايا الرأسية الكبيرة (لنفس فارق الزاويتين الرأسيتين) فمثلاً فى حالة (٦٠° ، ٥٠°) مع زاوية انحراف للشعرة قدرها ١° نجد أن الخطأ ٢٧ دقيقة تقريباً بينما فى حالة (١٠° ، صفر°) لنفس مقدار الانحراف فإن الخطأ قدرها ٥٦ ثانية .

٤ ــ يزداد أهمية هذا الخطأ فى حالة أن تكون احدى الزاويتين ارتفاع والأخرى انخفاض وذلك بالمقارنة بحالة أن تكون كلتاهما ارتفاع أو انخفاض فمثلا لخطأ قدره ١° ، ولزاويتى (١٠° ، ــ ١٠°) فالخطأ ٢′ ٥٢° بينما فى حالة ٦٠° ، ٤٠° ، فالخطأ قدره ٤٢″ فقط .

د ــ تلافيــه :

يمكن تلافى تأثير هذا الخطأ بالرصد متيامن ومتياسر .

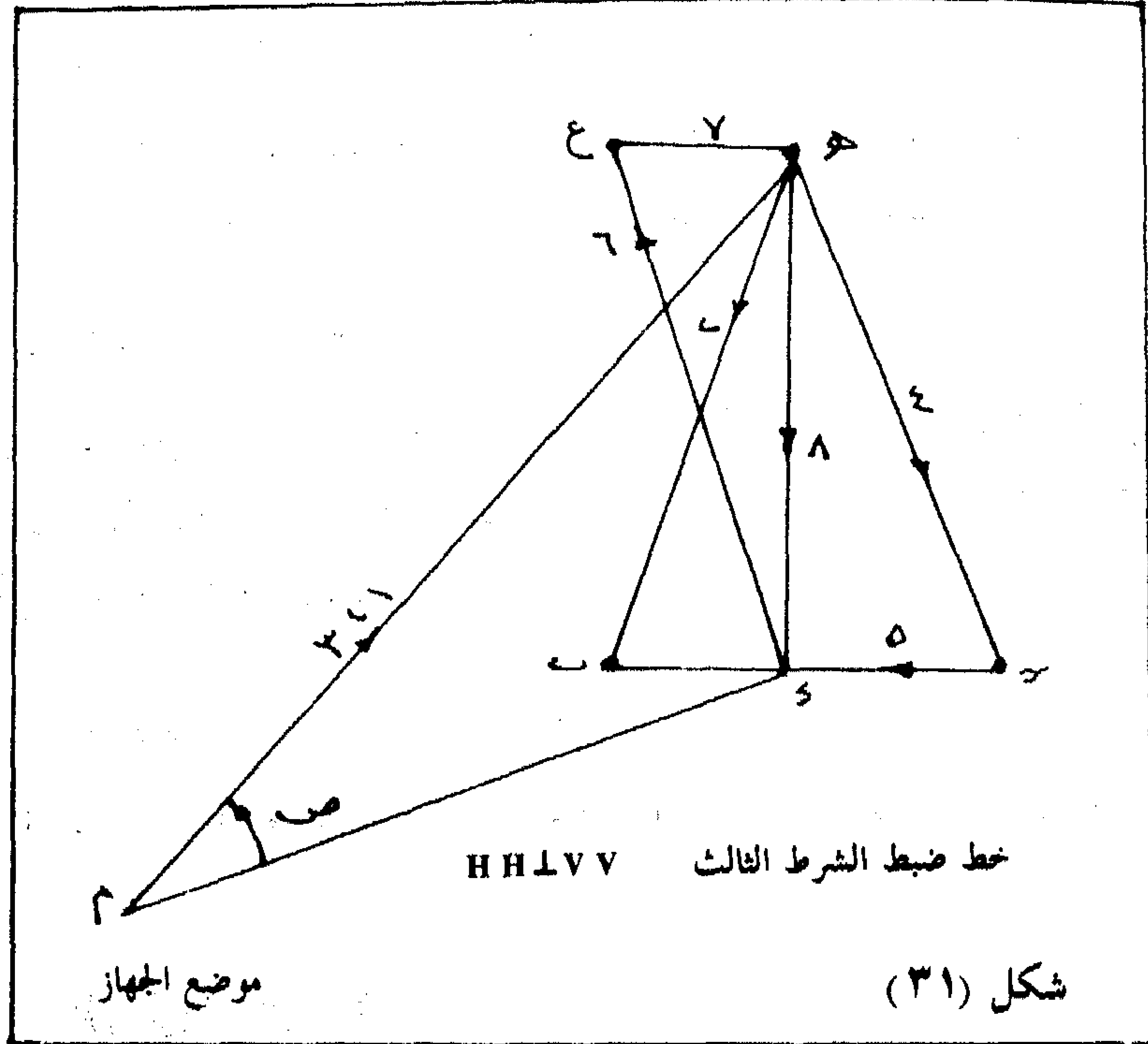
الشرط الثالث ــ تعامد المحور الأفقى لدوران المنظار على المحور الرأسى لدوران الجهاز (VV⊥HH)

ا ــ ضرورته :

أن يرسم خط النظر عند دورانه حول المحور الأفقى مستوياً رأسياً عندما تكون الدائرة الأفقية أفقية تماماً ، وإلا رسم مستوياً مائلاً (هذا على إعتبار أن الشرطين الأول والثانى متوافران) أى عندما يكون المحور الأفقى أفقى تماماً يجب أن يكون المحور الرأسى رأسى تماماً .

ب ـ إجراء الضبط :

١ ـ نثبت التيودوليت أفقياً على بعد حوالى ١٠ متر من بناء له قمة محددة بنقطة مثل هـ شكل (٣١) . نرصد نقطة هـ ثم نربط مسامير الحركة الأفقية .



شكل (٣١)

٢ ـ نخفض المنظار حول محوره الأفقى ونرصد نقطة عند قاعدة البناء على مستوى أفقى مع خط النظر مثل ب ، ويستحسن أن تكون على قامة أفقية .

٣ ـ نعكس وضع المحور الأفقى طرفا لطرف بإدارته ١٨٠° حول المحور الرأسى . نقلب المنظار ونرصد هـ مرة أخرى ونربط مسامير الحركة الأفقية .

٤ ـ نخفض المنظار ونرصد نقطة فى مستوى خط النظر ، فإذا انطبقت الجديدة ولتكن حـ على ب ، كان الشرط متوافراً .

٥ ــ إذا لم يتوفر هذا الشرط فإننا ننصف المسافة ب حـ في ء ، ونحرك الدائرة الأفقية بمسمار الحركة البطيئة حتى يرصد خط النظر ء .

٦ ــ نحرك المنظار إلى أعلى حتى مستوى هـ ثم نرصد نقطة ع بجوار هـ .

٧ ــ نرفع أحد طرفي المحور أو نخفضه بواسطة المسمار المحوى الموجود تحت طرف المحور الأفقي حتى يمر المحور البصري بنقطة هـ بدلاً من ع .

٨ ــ نكرر العمل عدة مرات فإذا توفر الشرط فإنه يخفض المنظار من هـ يجب أن نرصد نقطة ء منتصف ب حـ ، وبذا يتلاشى الخطأ .

حـ ــ تأثير عدم توافره :

١ ــ يؤثر في الزوايا الأفقية عندما تكون النقط أعلى أو أسفل المستوى الأفقي لخط النظر ، أي تكون النقط ذات زوايا رأسية مختلفة ، ويمكن إهمال التأثير إذا كان فرق الزوايا الرأسية صغيراً .

٢ ــ يؤثر في تحديد رأسية المنشئات .

٣ ــ يؤثر في قياس الزوايا الرأسية . ويزداد هذا كلما كبرت الزاوية الرأسية .

التأثير على الزوايا الرأسية :

في شكل (٣٢) (حيث الطرف الأيمن يرتفع عن الأيسر) .

$$\text{جا ص} = \frac{\text{أأ}_{١}}{\text{أب}} = \frac{\text{أأ}_{١}}{\text{أأ}_{٢}} \cdot \frac{\text{أأ}_{٢}}{\text{أب}}$$

جا ص = جتا م . جا $\text{ص}_{١}$

...... (١١)

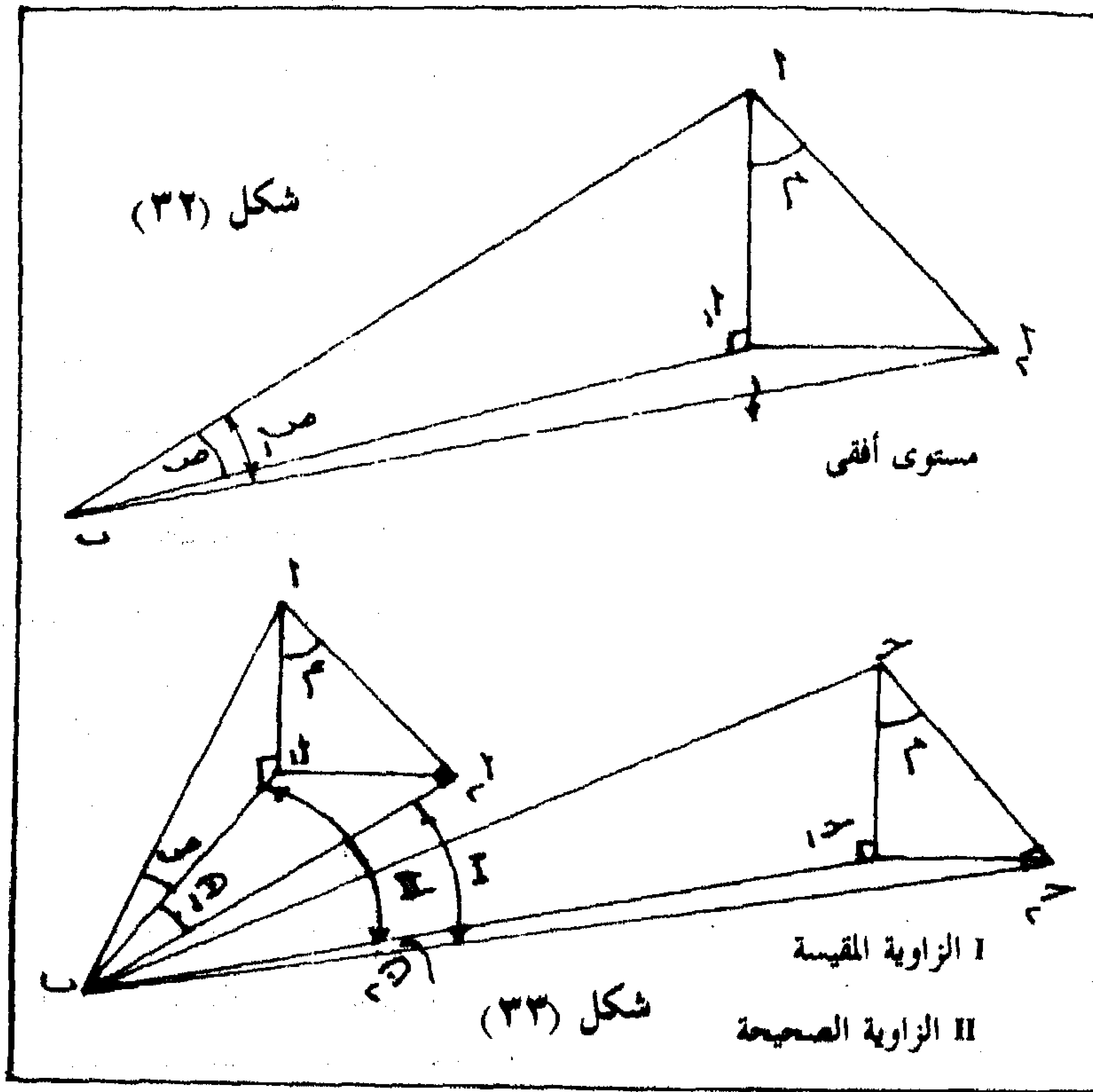
حيث ص = الزاوية الرأسية الحقيقية

ص١ = الزاوية الرأسية المرصودة

م١ = زاوية ميل المحور الأفقى عن المستوى الأفقى الحقيقى .

التأثير على الزوايا الأفقية :

فى شكل (٣٣) .



$$\text{ظا ن}_1 = \frac{\text{ا}_1\,\text{ا}_2}{\text{ا}_1\,\text{ب}_1} = \frac{\text{ا}_1\,\text{ا}_2}{\text{ا ا}_1} \cdot \frac{\text{ا ا}_1}{\text{ا}_1\,\text{ب}_1}$$

$$\boxed{\text{ظا ن}_1 = \text{ظا م} \cdot \text{ظا ص}} \quad \text{..... (١٢)}$$

أو

$ن''_1 = م''$ ظا $ص_1$ تقريباً

…… (١٣)

حيث $ن_1$ = مقدار زاوية الخطأ فى الاتجاه ب ا .

$م^*$ = مقدار زاوية الميل أو زاوية خطأ المحور .

ص = القيمة الحقيقية لزاوية إرتفاع النقطة المرصودة ا .

$ص_1$ = القيمة المرصودة لزاوية إرتفاع ا .

والمعادلة (١٣) تستعمل بدلاً من المعادلة (١٢) التى لا تعرف فيها قيمة ص (القيمة الحقيقية) .

وبنفس الطريقة يمكن إيجاد مقدار زاوية الخطأ فى الاتجاه ب حـ وبذا تكون الزاوية الأفقية الصحيحة هى $ا_1$ ب $حـ_1$.

ومن الشكل $ا_1$ ب $حـ_1$ = $ا_2$ ب $حـ_2$ + $هـ_1$ — $هـ_2$

وعموماً :

الزاوية الأفقية الصحيحة = الزاوية المقيسة ± $هـ_1$ ± $هـ_2$

…. (١٤)

وبذا إذا كانت زاويتا إرتفاع ا ، حـ متساويتين فإن الخطأ $هـ_1$ ، $هـ_2$ فى الاتجاهين يكونا متساويين فى القيمة وفى الاتجاه ، وبذا لا ينتج خطأ فى قياس الزاوية الأفقية .

(*) يمكن تعيين زاوية ميل المحور بواسطة الميزان المركب (Striding Level) ويمكن الرجوع إلى ذلك فى كتاب Advanced Surveying للأستاذ G. Whitmore ص ٦٥ — ٦٩ .

ويضاف الخطأ فى الاتجاه أو يطرح من الزاوية الأفقية تبعاً للجدول التالى من ناحية هل الخطأ فى الضلع الأيسر أو الأيمن وهل الزاوية إرتفاع أم إنخفاض وميل المحور إلى أعلى أو إلى أسفل أنظر الجدول (٢) .

جدول (٢)

الطرف الأيسر لمحور الدوران	ضلع الزاوية الأيسر		ضلع الزاوية الأيمن	
	إلى أعلى	إلى أسفل	إلى أعلى	إلى أسفل
زاوية إرتفاع	$- ه_{١}$	$+ ه_{١}$	$+ ه_{٢}$	$- ه_{٢}$
زاوية إنخفاض	$+ ه_{١}$	$- ه_{١}$	$- ه_{٢}$	$+ ه_{٢}$

فى شكل (٣٣) : الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة $- ه_{١} + ه_{٢}$

مثال :

رصدت الزاوية الأفقية بين ء (اليسرى) ، هـ (اليمنى) وكانت زاوية إنخفاض ء = ٣٠° وزاوية إرتفاع هـ = ١٥° . والطرف الأيمن لمحور الدوران ينخفض بمقدار ٢′ . ما مقدار الخطأ فى الزاوية الأفقية وما القيمة الصحيحة لها ؟

الحـــل :

$ن_{١} = - ٢' \; . \; ظا \; ٣٠° = - ٠٩'' \; ١'$

$ن_{٢} = + ٢' \; . \; ظا \; ١٥° = ٣٢''$

الزاوية الأفقية الصحيحة = الزاوية المرصودة ــ هـ١ + هـ٢ (طبقاً للجدول)

= الزاوية ــ (ــ ٩٠″ ١′) + ٣٢″

= الزاوية المرصودة + ٤١″ ١′

الشرط الرابع ــ أنطباق أصفار الورنيات على أصفار الدائرة الرأسية عندما يكون خط النظر أفقياً (AA يوازى ZZ)

لضبط الخطأ يتوقف العمل على موضع ميزان التسوية ، فهو إما أن يكون فوق المنظار متصلاً به أو مركباً على الذراع المتصلة بالورنيتين الرأسيتين .

١ ــ إذا كان ميزان التسوية فوق المنظار :

ضبطــه :

هذا الضبط تضمن خلاله ضبط موازاة خط الإنطباق مع محور ميزان تسوية المنظار . نضع التيودوليت فى منتصف المسافة بين قامتين ونحسب فرق المنسوب بينهما ، بعد ضبط ميزان التسوية فى منتصف مجراه . ننقل التيودوليت بالقرب من إحدى القامتين ونعيد الرصد عليها مرة أخرى بعد تسوية ميزان التسوية تماماً ، فإذا كان الفرق بين المنسوبين الأول مثل الثانى كان الشرط صحيحاً ، وإلا فإننا نحسب مقدار القراءة الصحيحة على القامة البعيدة (طريقة الوتدين) ثم نطبق الشعرات الأفقية للمنظار على هذه القراءة ، ونلاحظ عدم تحريك حامل الشعرات ، وإنما يكون التصحيح بإدارة مسمار الحركة البطيئة الرأسية حتى تقع الشعرة الأفقية على القراءة الصحيحة على القامة البعيدة . بعد ذلك نصحح ميزان التسوية ونجعله أفقياً بالمسمار الخاص به ، ثم نحرك ذراع الورنيتين حتى نقرأ صفراً على الدائرة الرأسية . بذلك يتم التصحيح .

تأثيره :

يسبب خطأ فى قياس الزوايا الرأسية .

تلافيـــه :

بإضافة خطأ الصفر أو طرحه من الزاوية الرأسية حسب الحالة (أنظر قياس الزوايا الرأسية فيما بعد) .

٢ ــ إذا كان ميزان التسوية فوق ذراع حامل الورنيات

ا ــ ضبطــه :

١ ــ نضبط الجهاز أفقياً بميزان تسوية الدائرة الأفقية ثم نجعل ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية أفقياً كذلك بواسطة المسمار المتصل بالذراع الحامل للميزان والورنيتين .

٢ ــ نطبق صفر الدائرة الرأسية على صفرى الورنيتين بواسطة مسمار الحركة الرأسية البطيئة للمنظار . نأخذ قراءة على قامة تبعد حوالى ١٠٠ متر تقريباً من الجهاز ثم نفك مسمار ربط الحركة الرأسية للمنظار وتلف المنظار ١٨٠° حول محوره الأفقى بحيث ينطبق صفر الدائرة الرأسية على صفر الورنيتين إمرة ثانية . ندير الأليداد ١٨٠° حول المحور الرأسى للجهاز مع ملاحظة أن ميزان التسوية المتصل بالدائرة الأفقية لم يحدث به أى تغير ما .

٣ ــ نأخذ القراءة على القامة الأولى مرة ثانية ، فإذا تساوت القراءتان كان الميزان مضبوطاً ، وإلا نوجه المنظار ، بأستعمال مسمار الحركة الرأسية البطيئة ليقرأ متوسط القراءتين .

٤ ــ نحرك الورنيتين بالمسمار الخاص بهما حتى تعود القراءة صفراً على الدائرة الرأسية ، عند ذلك نجد أن ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية قد صار غير مضبوط ، فنصححه بمسمار الضبط المتصل به مباشرة . ويحسن تكرار العمل للتأكد من تلاشى الخطأ .

تلافيـــه :

يمكن القياس مع وجود هذا العيب بأن نوجد زاوية إرتفاع الهدف ثم ندير

الجهاز ١٨٠° حول محوره الأفقى وكذلك حول محوره الرأسى ، ثم نوجه للهدف مرة أخرى وتقرأ الزاوية (وجه متيامن ومتياسر) ثم نأخذ متوسط القراءتين فى الحالتين فتنتج الزاوية الصحيحة ، لأن خطأ الصفر فى الحالة الأولى عكس الخطأ فى الحالة الثانية مقداراً وإشارة .

قياس الزوايا الرأسية وخطأ الاستدلال

تقاس زوايا الإرتفاع والإنخفاض من المستوى الأفقى لدوران المنظار وتميز زوايا الإرتفاع بالعلامة (+) وزوايا الإنخفاض بالعلامة (−) . ويعين المستوى الأفقى بواسطة ميزان التسوية المثبت إما فوق المنظار أو فوق حامل الورنيات .

ومن الأفضل دائماً عند قياس الزوايا الرأسية أن نبدأ أولاً بتحقيق الشروط الدائمة الخاصة بضبط الدائرة الرأسية وبعد ذلك ، إما أن يصحح الخطأ فى الجهاز ، أو نعين قيمة الخطأ وإشارته ، ونصحح الأرصاد حسابياً ، ويعرف هذا الخطأ بخطأ الإستدلال أو خطأ الإبتداء (Index-Error) .

الحالة الأولى : ميزان التسوية فوق المنظار :

١ ــ نثبت الجهاز فوق النقطة ونستوفى شروط الضبط المؤقتة تماماً كما نفعل عند رصد الزوايا الأفقية .

٢ ــ نضبط أفقية ميزان التسوية الموضوع فوق المنظار وإدارة مسمارى حركة المنظار . نقرأ الورنيتين الرأسيتين ، فإذا كانت القراءة صفراً كان الجهاز مضبوطاً ، أما إذا بينت قراءة أخرى غير الصفر فأمامنا إحدى ثلاث طرق :

ا ــ تدوين هذه القراءة وإعتبارها خطأ الصفر كما ذكرنا . هذا الخطأ يضاف أو يطرح حسب الزاوية المقيسة ، فإذا كان الخطأ والزاوية المقيسة فى ناحية واحدة من الصفر طرح الخطأ ، وإذا كانا فى ناحيتين مختلفتين أضيف إلى الزاوية .

ب ـــ نضبط الورنيات بتحريك مسمار الضبط الخاص بها حتى نقرأ صفراً (ميزان التسوية فوق المنظار مازال أفقياً لم نحركه) . نرفع المنظار ونرصد النقطة المطلوبة ونقرأ الزاوية فتكون هى الزاوية الصحيحة المطلوبة .

حـ ـــ نرصد مرة والجهاز متيامن وأخرى والجهاز متياسر فتكون النتيجة أن خطأ الصفر لو كان فى الوضع المتيامن إلى أسفل مثلاً فإنه يكون إلى أعلا فى الوضع المتياسر ، وبأخذ المتوسط يضيع الخطأ .

الحالة الثانية : ميزان التسوية فوق حامل الورنيات أو مثبت على الدائرة الرأسية (كما فى معظم التيودوليتات الحديثة) :

١ ـــ نضبط الجهاز أفقياً فوق حامله ونجعل الجهاز متياسراً ونضبط ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية ، أى نجعل الفقيعة فى منتصف مجراها باستعمال مسمار ضبط حاملة الورنيتين .

٢ ـــ نرفع المنظار ونرصد النقطة المطلوب إيجاد زاوية إرتفاعها أو إنخفاضها مع استعمال مسمارى الحركة السريعة والبطيئة للمنظار ونقرأ الورنيتين مرة أخرى . فتكون زاوية الإرتفاع المقروءة هى الزاوية بين الخط الواصل بين صفرى المقياس الرأسى (صفر° ، ١٨٠°) والخط الواصل بين سهمى الورنيتين .

من شكل (٣٤) : هذه الزاوية = ɑ + β

حيث ɑ هى زاوية الإرتفاع الحقيقية .

، β الخطأ فى موازاة صفر الورنيتين لمحور ميزان التسوية الرأسى وهذا الخطأ هو (خطأ الصفر) .

فإذا أدرنا الجهاز ١٨٠° حول محوره الرأسى فإن الجهاز يظل متياسراً ومازال خطأ الصفر كما هو قدره β .

٣ ـــ نقلب المنظار ١٨٠° حول محوره الأفقى ، وبذا يصبح الجهاز متيامناً

ونرصد نفس النقطة المطلوبة وتكون قراءة الورنيات = ﮬ ـ β (شكل ٣٥) .

٤ ـ نأخذ متوسط الزاويتين فنحصل على ﮬ الزاوية الصحيحة .

٥ ـ ندون الأرصاد كما فى جدول (٣) .

حساب قيمة خطأ الاستدلال وأشارته فى الحالة الثانية :

١ ـ نرصد نقطة مرتفعة واضحة بعد تسوية الجهاز للرصد ثم نضبط فقيعة ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية فى منتصف مجراها بواسطة المسمار الخاص بها .

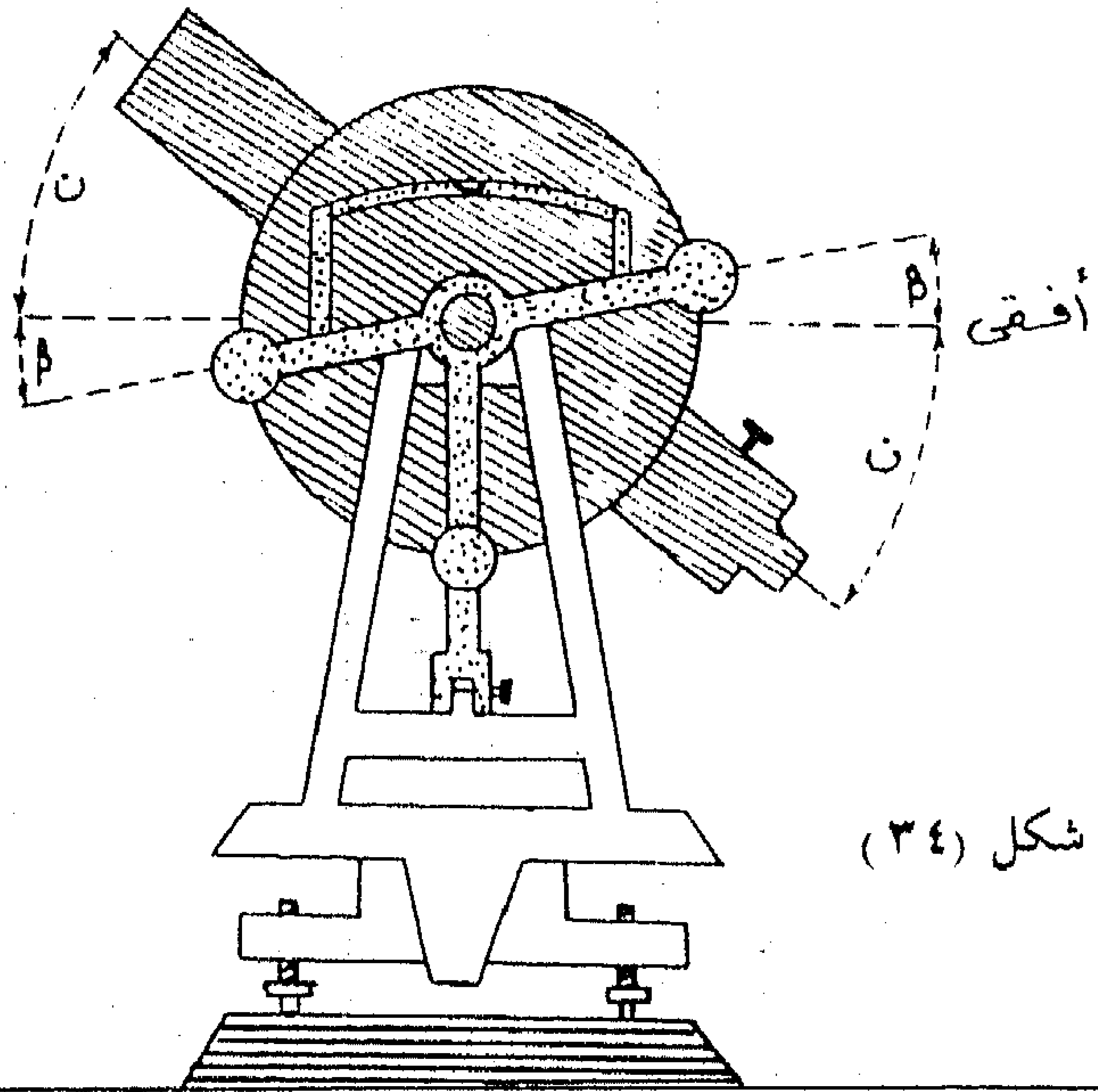
٢ ـ نأخذ قراءتى الورنيتين (أو تؤخذ مباشرة فى حالة التيودوليت الحديث) ونحسب المتوسط لهما ، وليكن المتوسط فى هذه الحالة والجهاز متيامن ، ٢٠″ ٤٣′ ٣٣° .

٣ ـ نكرر العمل والجهاز متياسر ونفرض أن متوسط القراءتين ٤٠″ ٤٦′ ٣٣° .

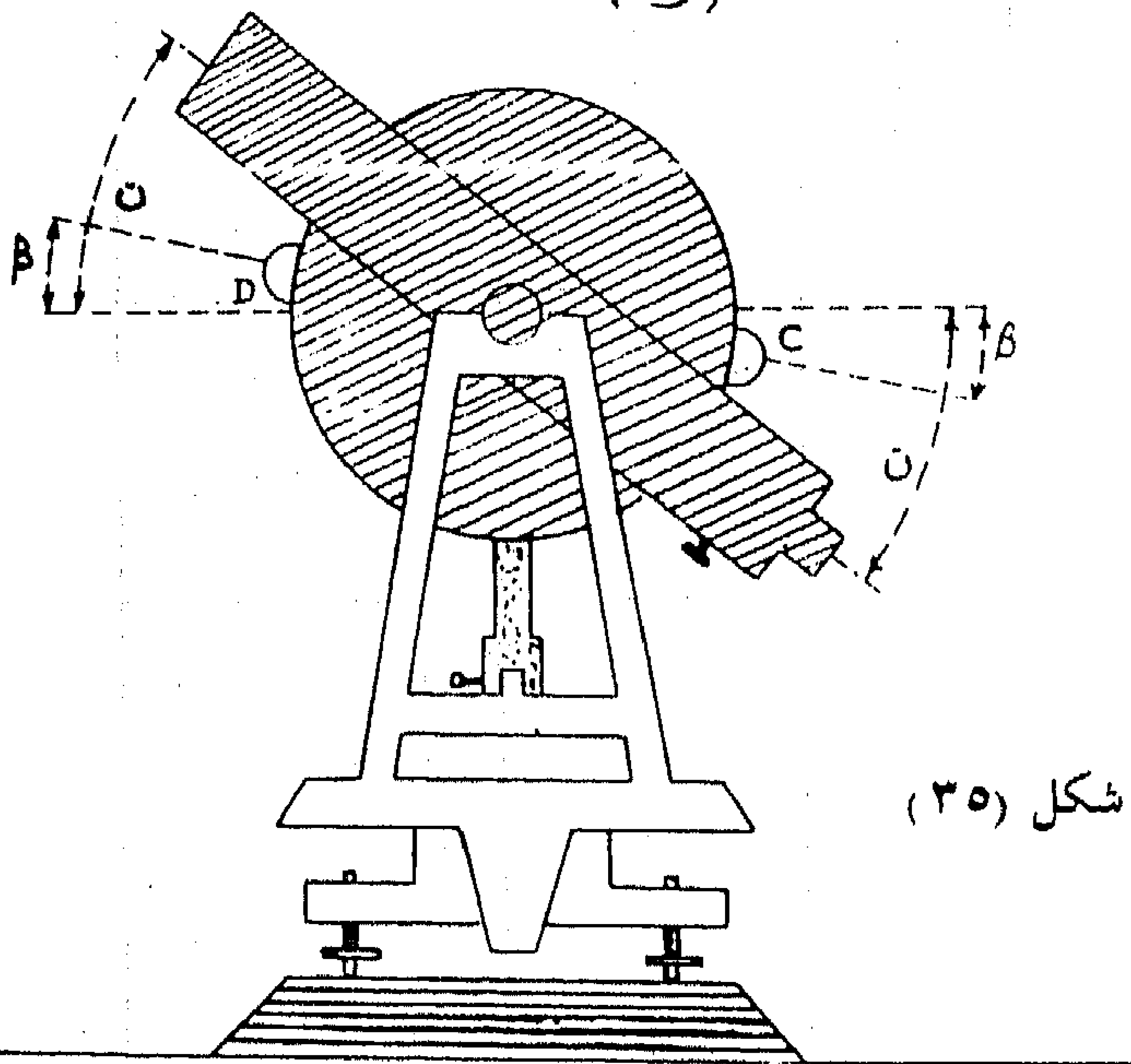
∴ ضعف خطأ الاستدلال = الفرق بين المتوسطين ٢٠″ ٣′ وخطأ الاستدلال = ٤٠″ ١′ .

٤ ـ لتصحيح الزوايا الرأسية يضاف لكل من الأرصاد المأخوذة والجهاز متيامن ٤٠″ ١′ ويطرح هذا المقدار من الأرصاد المأخوذة والجهاز متياسر .

ومن الواجب مراعاته كذلك عند قياس الزوايا الرأسية معرفة طريقة تدريج الدائرة الرأسية للجهاز ، وهذه الدائرة قد يبدأ صفر التقسيم فيها من خط الأفق ، كما قد يبدأ فى البعض الآخر من خط السمت ، وكذلك قد يكون بالدائرة نقطة إبتداء واحدة لترقيم المقياس ، وقد يكون بها موضعان لبدء ترقيم المقياس وأيضاً إتجاهان لتدريجه .



شكل (٣٤)



شكل (٣٥)

جدول (٣)

قياس الزوايا الرأسية

نقطة الرصد (الجهاز)	النقطة المرصودة	متيامن		متياســـر		الزاوية الرأسية	إرتفاع أو إنخفاض
		ورنية (C)	ورنية (D)	ورنية (C)	ورنية (D)		
ن	ا	٥٢٢ ٠١َ ٤٠ً	٠١َ ٢٠ً	٥٢٢ ٠٢َ ٢٠ً	٠٢َ ٠٠ً	٥٢٢ ٠١َ ٥٠ً	إرتفاع
	ب	٣٧ ٤٦ ٥٠	٤٦ ٢٠	٣٧ ٤٧ ٢٠	٤٧ ١٠	٣٧ ٤٦ ٥٥	إرتفاع
	حـ	١٤ ١٥ ٢٠	١٥ ١٠	١٤ ١٦ ٠٠	١٥ ٥٠	١٤ ١٥ ٣٥	إنخفاض
	ء	٠٨ ٢١ ٤٠	٢١ ٠٠	٠٨ ٢٢ ٢٠	٢٢ ٠٠	٠٨ ٢١ ٤٥	إرتفاع

II ــ الضبط الدائم

للعيوب التى لا يمكن ضبطها وتصحيحها إلا فى المصنع

تنشأ هذه العيوب غالباً من الصناعة ولا يتيسر لنا تصحيحها إلا فى المصنع وهذه العيوب هى :

العيب الأول ــ عدم ثبات أجزاء التيودوليت عند ربط جميع مسامير الحركة (عدم مرونة الجهاز) :

ومعنى هذا أن الجهاز إذا تأثر بمؤثر خارجى فإنه لا يعود إلى حالته الطبيعية بعد زوال المؤثر وينشأ هذا عن نعومة المسامير وكثرة وسوء الأستعمال .

ولإختبار ذلك نثبت الجهاز فوق حامل تام التماسك ونوجه المنظار إلى أى هدف ثابت ونرصده على تقاطع الشعرات . نربط جميع مسامير الحركة ، ونضغط على العينية ضغطاً خفيفاً مرة فى الأتجاه الأفقى وأخرى فى الإتجاه الرأسى وذلك أثناء النظر خلالها ، فإذا لم تتحرك نقطة تقاطع الشعرات عن الهدف أو تحركت عنه وعادت فأنطبقت عليه على أثر إزالة الضغط كان الشرط متوافراً ، وإلا يرسل إلى المصنع .

ولتحاشى هذا العيب لا تضغط على أى جزء من أجزائه أثناء الرصد أو عدم لمسها إلا للضرورة القصوى .

العيب الثانى ــ عدم دوران الجهاز حركة دائرية تماماً بسبب عدم انتظام استدارة قطاع المحور الرأسى .

يرجع ذلك إلى تآكل المحور تآكلاً غير منتظم ، وبذلك يكون نصف قطر الإنحناء متغير ولا يساوى نصف قطر الحافة الأفقية ، وقد نتلافى هذا العيب بالقراءة على عدة أقواس من الدائرة وأخذ المتوسط .

العيب الثالث ــ عدم انطباق محور الحافة الأفقية على محور دوران قرص الورنيات :

نتيجة لهذا العيب يحدث خطأ ينشأ من دوران الحافة الأفقية فى مستو أفقى وقرص الورنيات فى مستو مائل أو العكس .

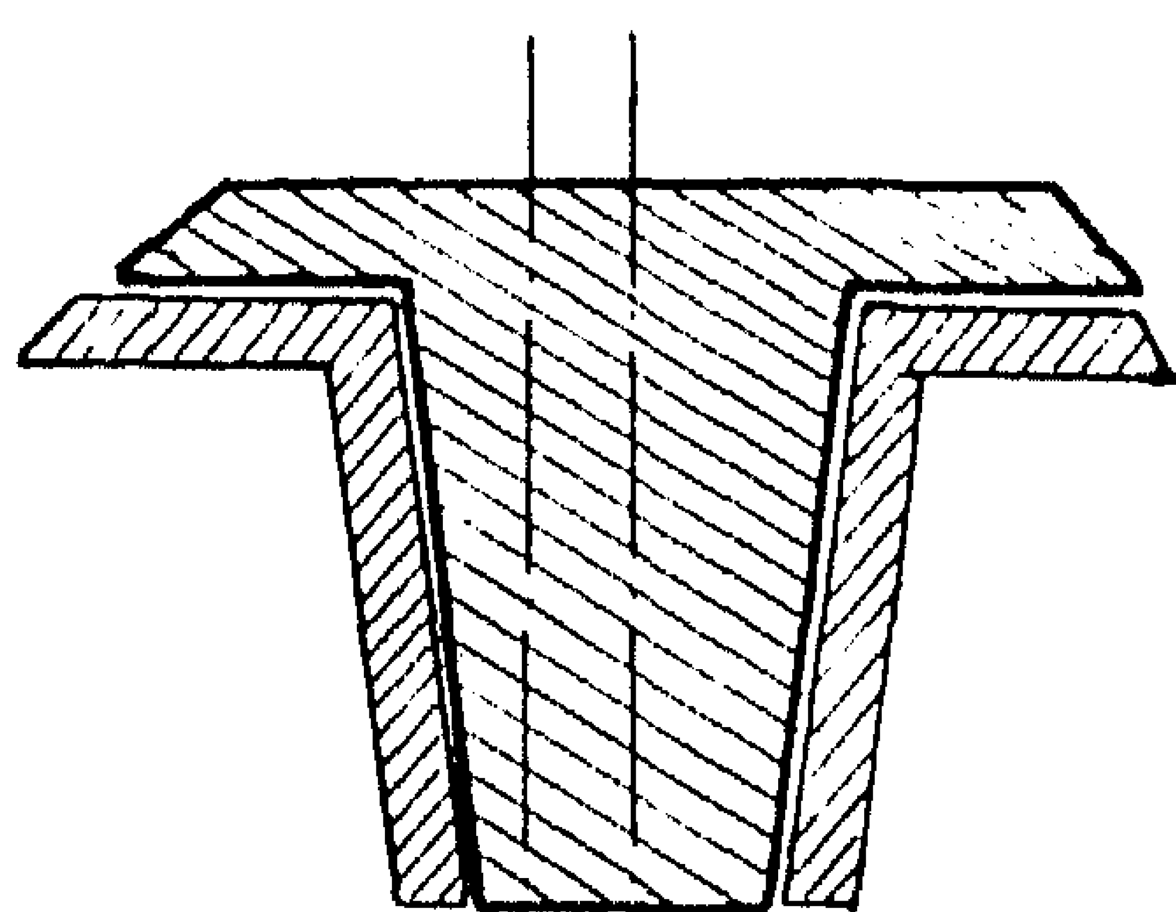
نثبت الجهاز فى أرض صلبة ثم نربط مسمار الحافة الأفقية ونضبط ميزان تسويتها كما فى شروط الضبط الدائم . نفك مسمار الحافة الأفقية ونربط مسمار القرص ونضبط ميزان التسوية ثم نديره ، فإذا ثبتت الفقيعة فى المنتصف كان المحوران منطبقين أو متوازيين كما فى شكل (٣٦) وإذا تزحزحت كان أحد المحورين مائلاً كما فى شكل (٣٧) .

العيب الرابع ــ عدم انطباق مركز دوران الحافة الأفقية ودائرة الورنيات :

ونسميه أيضاً (خطأ عدم التمركز) ونتيجة لهذا العيب نحصل على قراءات خطأ على كل من الورنيتين ونتأكد من خلو الجهاز من هذا الخطأ إذا ظل فرق قراءتى الورنيتين ثابتاً مهما تغير وضعهما على الدائرة الأفقية وإلا فإننا نوجد قيمة الخطأ كما يلى :

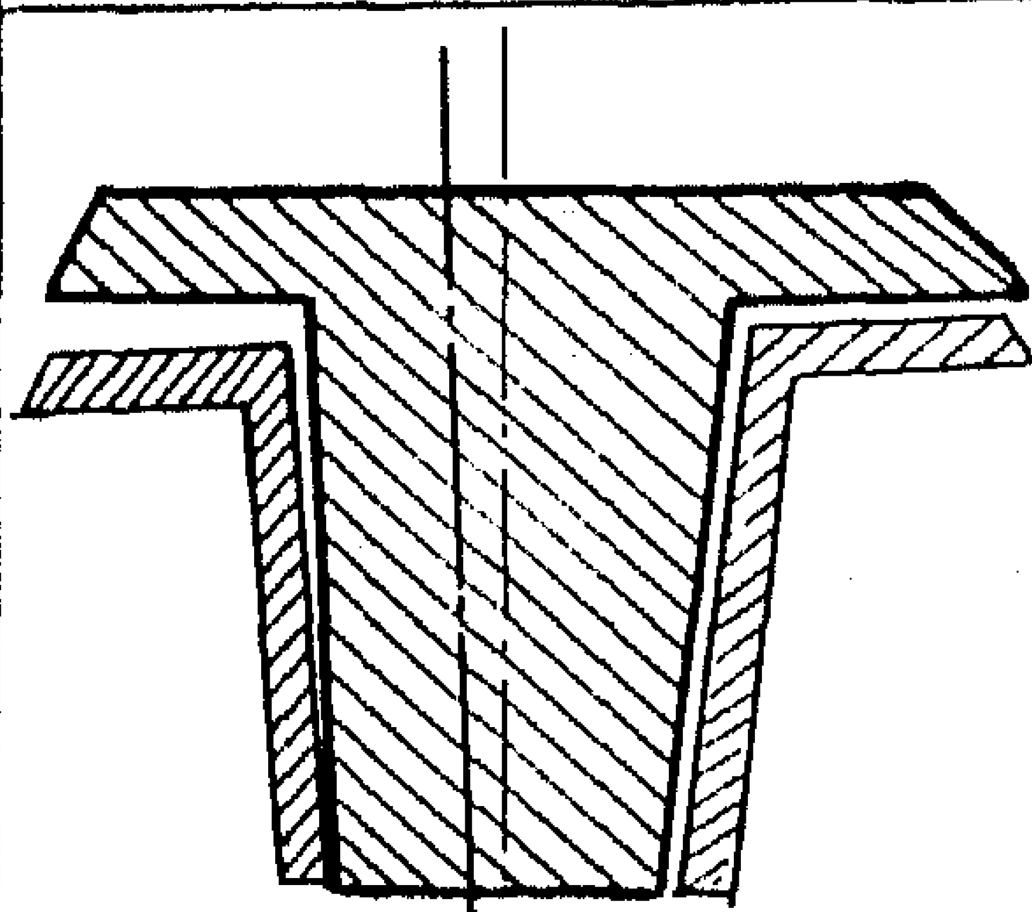
نفرض أن (ا ، ب) شكل (٣٨) هما موضعا الورنيتين عندما يكون خط النظر فى الوضع حـ ء . فإذا أدير خط النظر حول (ن) مركز دوران القرص العلوى إلى أن يأخذ الوضع (حـ $_١$ ن ء $_١$) صانعا زاوية (س) مع اتجاهه الأول ، فإن الورنيتين تتحركان إلى الوضع (ا $_١$ ، ب $_١$) وتكون الزاوية الحقيقية التى تحركتها الورنية ا = ا ن ا $_١$ = س ولكن هذه الزاوية تقرأ على الحافة الأفقية بالزاوية ا م ا $_١$ = س ــ هـ وتقرأ الورنية ب الزاوية ب م ب $_١$ بالقيمة ١٨٠° + س + هـ ، وكان الواجب أن تكونا س ، س + ١٨٠° فقط .

الفرق بين القراءتين = (١٨٠° + س + هـ) ــ (س ــ هـ)
= ١٨٠° + ٢ هـ



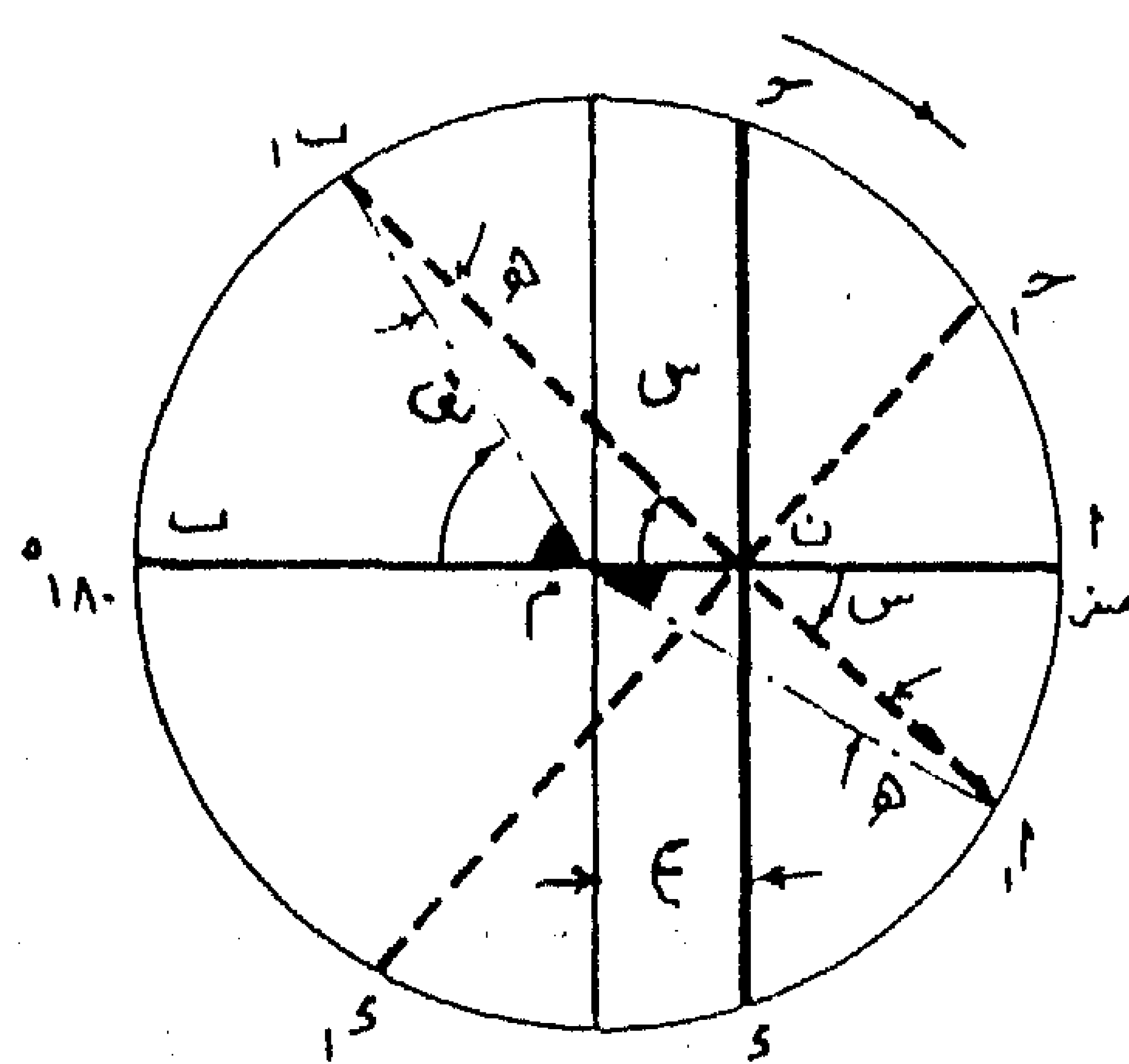
محورا القرصين متوازيان

شكل (٣٦)



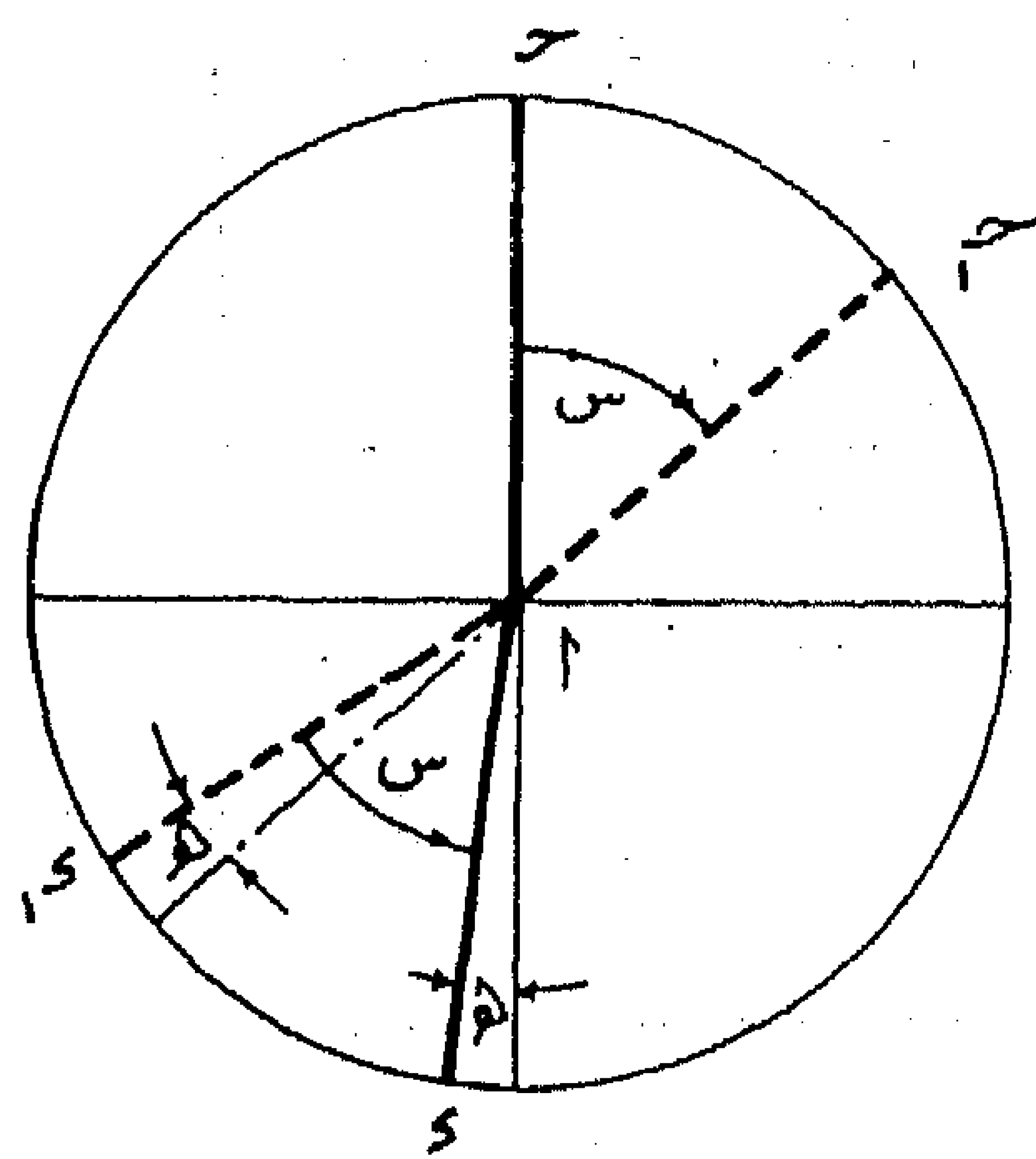
محورا القرصين مائلان

شكل (٣٧)



الزوايا المفروضة

شكل (٣٨)



شكل (٣٩)

وكان الواجب أن يكون الفرق ١٨٠° فقط .

تلافى الخطأ : يؤخذ متوسط قراءتى الورنيتين B, A (بعد طرح ١٨٠° من قراءة الورنية B) وبذا .

$$\text{الزاوية الحقيقية} = \frac{(\text{١٨٠°} + \text{س} + \text{هـ} - \text{١٨٠°}) + (\text{س} - \text{هـ})}{\text{٢}}$$

= متوسط قراءتى الورنيتين = س

خطأ التمركز = ϵ

فمن المثلث ب_1 م هـ

$$\frac{\epsilon}{\text{جا هـ}} = \frac{\text{ع}}{\text{جا س}}$$

$$\text{جا س} = \text{ع} \cdot \frac{\text{جا هـ}}{\epsilon}$$

$$\text{جا هـ} = \epsilon \cdot \frac{\text{جا س}}{\text{ع}} \quad \text{..... (١٥)}$$

ويكون الخطأ أكبر ما يمكن عندما تكون س = ٩٠°

$$\text{جا هـ (أكبر ما يمكن)} = \frac{\epsilon}{\text{ع}}$$

$$\text{هـ}'' \text{ (أكبر ما يمكن)} = \frac{\epsilon}{\text{ع}} \cdot \rho'' \quad \text{..... (١٦)}$$

العيب الخامس ــ الورنيتان لا يقع صفراهما على قطر واحد :

وهذا يعنى أن الفرق بين قراءتى الورنيتين لا يكون ١٨٠° شكل (٣٩)

نفرض أن الوضع الأول للورنيتين هو (حـ ا ء) والوضع الثانى بعد التوجيه (حـ$_1$ ا ء$_1$) وبذلك فإن الفرق بين قراءتى الورنيتين لا يساوى ١٨٠° ففى الوضع الأول كانت القراءة على الورنية الأولى صفر° والثانية ١٨٠° + هـ .

وفى الوضع الثانى ، قراءة الورنية الأولى (س) والثانية (١٨٠° + هـ + س) .

وبذلك فإن فرق القراءتين للورنية الأولى = س وكذلك بالنسبة لقراءتى الورنية الثانية .

أى أننا بإيجاد الفرق بين قراءتى الورنية الواحدة نحصل على الزاوية الصحيحة ، ولا يكون لهذا العيب تأثير على الزوايا طالما أننا نستعمل فرق القراءتين للورنية نفسها ، أى لا نطرح القراءة الثانية مثلاً للورنية الثانية من القراءة الأولى للورنية الأولى .

العيب السادس ــ عدم تساوى التدريج على الدائرة الأفقية والرأسية :

على الرغم من استعمال الآلات الدقيقة فى تقسيم الدائرة الأفقية والرأسية نجد أن هذه الأقسام ليست متساوية تماماً . ويمكن التغلب على هذا العيب بالقياس على أقواس مختلفة من القرص الأفقى . ويلاحظ أنه لا يمكن أخذ أقواس كثيرة على الدائرة الرأسية وإنما يكتفى بأخذ وجه متيامن ومتياسر .

ويلاحظ أنه عند قراءة الوجهين نتخلص من عيبين من شروط الضبط الدائم وهما :

١ ــ عدم تساوى إرتفاع حاملى المنظار . أى ميل المحور الأفقى للمنظار على المحور الرأسى لدوران الجهاز (HH ⊥ VV) .

٢ ــ عدم إنطباق خط النظر على المحور البصرى للمنظار (ZZ ⊥ HH) .

وهناك عيوب أخرى لا تؤثر كثيراً فى الرصد ونتائجه ولا دخل للراصد فيها وإنما تراعيها المصانع .

أمثلة محلولة

مثال (١) :

تيودوليت ينخفض فيه الحامل الأيسر للمحور الأفقى عن الحامل الأيمن بحيث كان ميل هذا المحور الأفقى ١٢ دقيقة ، رصدت به زاوية أفقية ا ب حـ فكانت قيمتها ١٤′ ٣٧° أوجد القيمة الصحيحة لهذه الزاوية إذا كانت زاوية إرتفاع ا = ٧٢° وزاوية إنخفاض نقطة حـ = ٢٢° . متى يتلاشى هذا الخطأ فى الزاوية الأفقية وضح مع الرسم الدقيق ؟

الحـــل :

الزاوية الأفقية الصحيحة = الزاوية المرصودة + ن$_1$ — (— ن$_2$)

ن$_1$ = م ظا ص$_1$ = ١٢′ ظا ٧٢° = ١٢ × ٣,٠٧٨

= ٥٦″ ٣٦′

ن$_2$ = م ظا ص$_2$ = ١٢′ ظا ٢٢° = ١٢ × ٠,٤٠٤

= ٥١″ ٠٤′

∴ الزاوية الأفقية الصحيحة = ١٤′ ٣٧° + ٥٦″ ٣٦′ + ٥١″ ٠٤′

= ٤٧″ ٥٥′ ٣٧°

مثال (٢) :

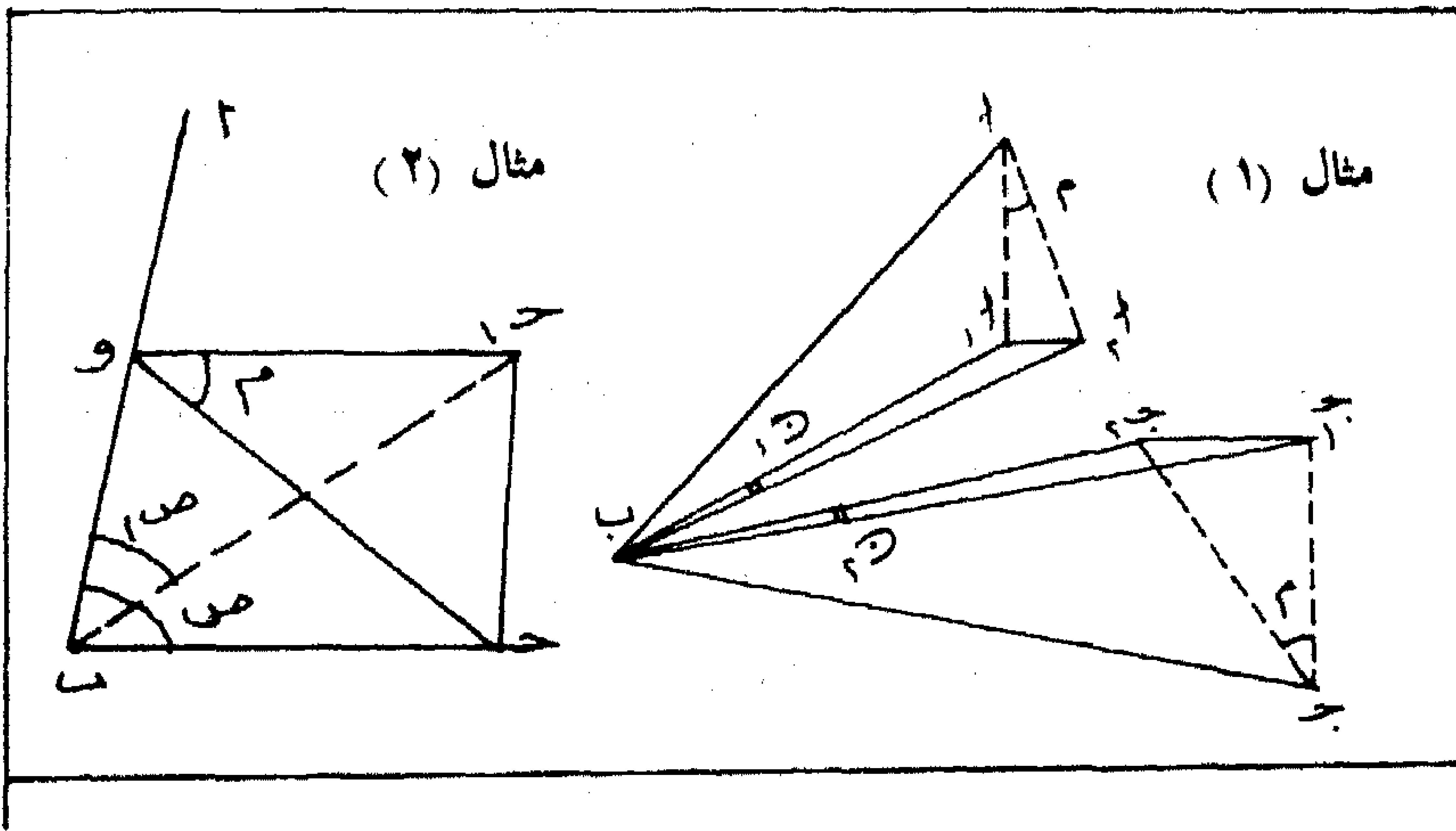
رصدت الزاوية الأفقية بين نقطتين فكانت ١٧′ ٤٤° وعند تحقيق الشرط الأول للضبط الدائم لوحظ أن الفقيعة تحركت ٦ أقسام عند دوران الجهاز ١٨٠° حول المحور الرأسى حساسية الميزان ٣٠″ . ما هى قيمة الزاوية الأفقية الصحيحة ؟

الحـــل :

م = ٣ × ٣٠″ = ٣٠″ ١′

$$\text{ظا ص} = \frac{\text{حـ و}}{\text{و ب}} = \frac{\text{حـ و}}{\text{حـ}_1\text{ و}} \cdot \frac{\text{حـ}_1\text{ و}}{\text{و ب}} = \text{جتا م} \cdot \text{ظا ص}_1$$

= جتا ٣٠″ ١′ ظا ١٧′ ٤٤° ومنها يمكن إيجاد ص .



مثال (٣) :

ا ـــ عند التحقق من عدم إزاحة الشعرة الرأسية عن موضعها كان الفرق بين نقطتين مرصودتين فى المتيامن والمتياسر لجهاز يبعد بمقدار ١٠٠ متر هو ٤٠ سم . عين زاوية إرتفاع المنظار عند حدوث خطأ قدره ٥٢,٥″ ٦′ فى خط النظر . اعتبر ϱ″ = ٢٠٦٢٥٠ .

ب ـــ فى جهاز تيودوليت يميل محور أنبوبة التسوية الخاص بالدائرة الأفقية بمقدار ٣° قيست به زاوية أفقية فكانت ٢٠′ ٤٤° . عين مع البرهان القيمة الصحيحة لهذه الزاوية .

الحـــل :

(١) $$\text{هـ} = \frac{\text{١٠}}{\text{١٠٠} \times \text{١٠٠}} = \frac{\text{١}}{\text{١٠٠٠}}$$

$$\text{هـ}'' = \frac{\text{٢٠٦٢٥٠}}{\text{١٠٠٠}} = \text{٢٠٦,٢٥٠}''$$

و″ = هـ″ قا ط

و″ = ٦ × ٦٠ + ٥٢,٥ = ٤١٢,٥″

٤١٢,٥ = ٢٠٦,٢٥ قا ط

$$\text{قا ط} = \frac{\text{و}}{\text{هـ}} = \frac{\text{٤١٢,٥}}{\text{٢٠٦,٢٥}} = \text{٢}$$

$$\text{جتا ط} = \frac{\text{١}}{\text{٢}}$$

∴ ط = زاوية إرتفاع المنظار = ٦٠°

(ب) ظا الصحيحة = جتا الميل × ظا الزاوية المقيسة .

= جتا ٣ ظا ٤٤° ٢٠′

= ٠,٩٩٨٦ × ٠,٩٧٧ = ٠,٩٧٥٦

الزاوية الصحيحة = ٤٤° ١٧′ ٣٩″

مثال (٤) :

وضع تيودوليت على مسافة ١٠ متر من حائط برج قيست زاوية إرتفاع أعلى نقطة فيه فكانت = ٥٠° . فإذا كانت هذه النقطة قد رصدت والجهاز مرة متيامن ومرة متياسر وتحرك المنظار فى الحالتين من أعلى إلى أسفل حتى مستوى خط النظر فقطع قامة أفقية بجوار الحائط فى نقطتين تبعدان عن بعض بمقدار ٣٠ سم أوجد زاوية ميل المحور الأفقى لدوران المنظار .

الحـــل :

$$\text{ميل المحور الأفقى} = م = ظا^{-1} \frac{٠,١٥}{ا ب}$$

$$\text{الأرتفاع ع} = ا ب = ١٠ \ ظا ٥٠°$$

$$= ١٠ \times ١,١٩١٨ = ١١,٩١٨ \ \text{متراً}$$

$$م = ظا^{-1} \frac{٠,١٥}{١١,٩١٨} = ظا^{-1} ٠,٠١٢٥٨٦$$

$$= ١٦'' \ ٤٣'$$

$$\text{أو} \quad ظا هـ = ظا م \ ظا ص$$

$$ظا م = \frac{١٥}{١٠٠٠ \times ١,١٩١٨} = ٠,٠١٢٥٨$$

$$\therefore م = ١٦'' \ ٤٣'$$

مثال (٥) :

وضع تيودوليت على أرض مستوية فى نقطة ا ثم رصدت نقطة ب على بعد ١٠٠ متر وكانت الآلة متيامنة . أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة حـ فى الناحية الأخرى على بعد ١٠٠ متر من ا . أعيد الرصد على ب والآلة متياسرة ثم أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة جديدة ء على نفس البعد من ا . فإذا كان حـ ء = ٣٠ سم فما مقدار زاوية الخطأ فى انحراف خط النظر .

الحـــل :

$$حـ \hat{ا} ء = ٤ هـ$$

= ٤ أمثال زاوية انحراف خط النظر

وبما أن حـ ء صغيرة جداً بالنسبة للمسافة (١٠٠ متر) .

∴ هـ٤ = (٣٠ / ١٠,٠٠٠) × ٣٤٣٨′

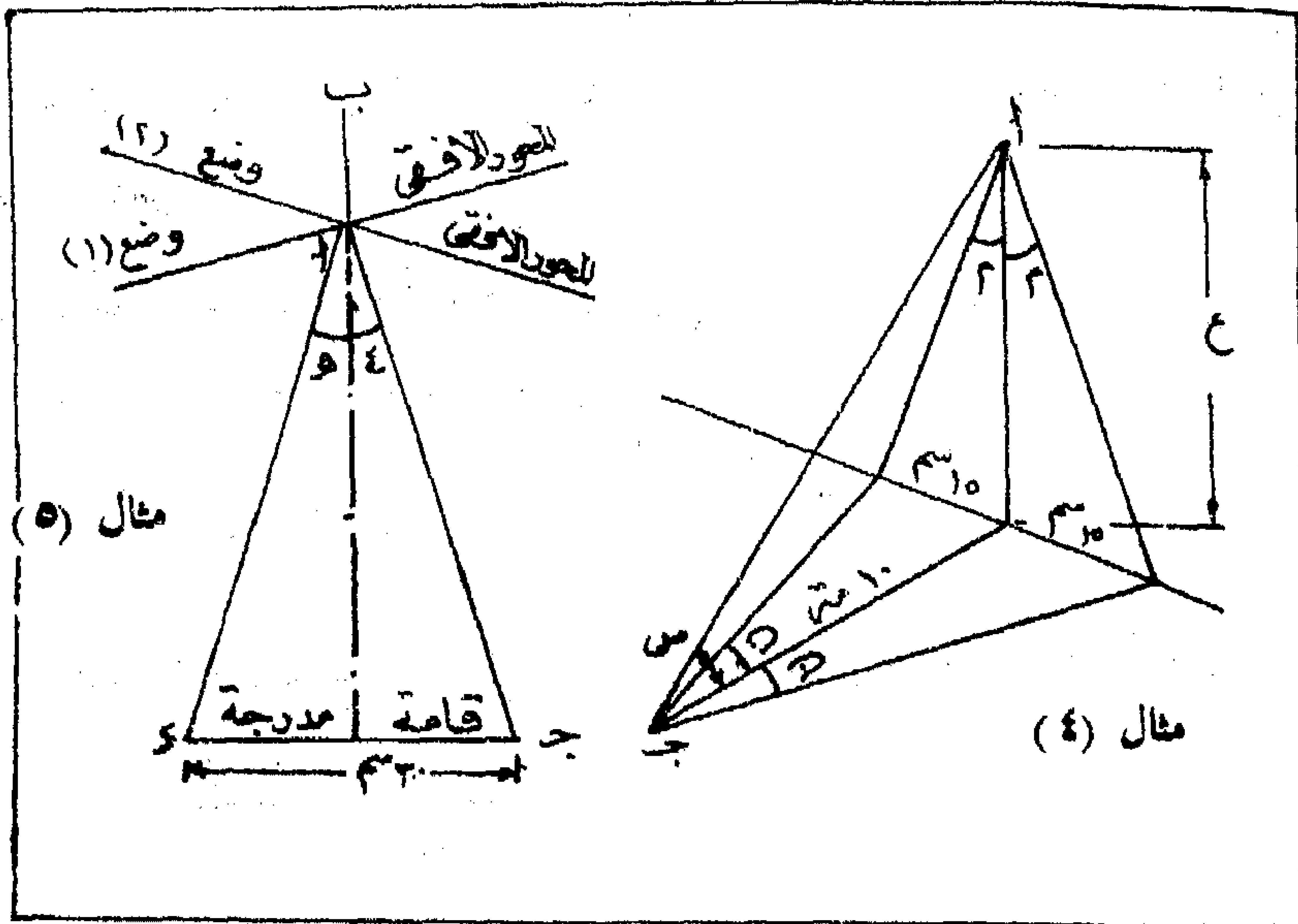
= ١٠,٣٢′

هـ = ٣٥″ ٢′

ويمكن حل المثلث ا و ى .

ظا ٢ هـ = ٠,١٥ / ١٠٠ = ٠,٠٠١٥

هـ٢ = ٣٥″ ٢′



مثال (٦) :

في تيودوليت قطر دائرته الأفقية خمس بوصات أخذت قراءة الورنية ا فكانت ٤٠ً ١١َ ٠٠ ٥° بينما كانت قراءة الورنية ب = ٤٠ً ١٢َ ١٨٠° . أحسب مقدار الأختلاف المركزي الناتج من عدم إنطباق الدائرة الأفقية ودائرة الورنيات .

الحـــل :

من الشكل

الزاوية الحقيقية = س = هـ + ٤٠″ ١١′ .... (١)

(س خارجة عن المثلث ا حـ م)

وكذلك س = ٤٠″ ١٢′ ـــ هـ .... (٢)

(س داخل المثلث م حـ ب)

بطرح (٢) من (١)

٢ هـ = ١′ هـ = ٣٠″

ونظراً لصغر الزاوية هـ يمكن إعتبار (حـ م) قوس من دائرة مركزها ب ، نصف قطرها ىں .

ىں . هـ⌢ = حـ م = الأختلاف المركزي

حـ م = ٢,٥ × ٢٥,٤ × $\frac{٣٠″ \times ٣,١٤}{٦٠ \times ٦٠ \times ١٨٠}$

= ٠,٠٠٩ مم

والطريق الصحيح هو حل المثلث ب م حـ (أو المثلث حـ ا م) .

∴ $\frac{\text{م ب}}{\text{جا س}} = \frac{\text{حـ م}}{\text{جا هـ}}$

$\frac{\text{ىں}}{\text{جا س}} = \frac{\text{الأختلاف المركزى}}{\text{جا هـ}}$

ومنها يمكن إيجاد الاختلاف المركزى لأن كل العناصر الأخرى معلومة لأن ىں ، هـ معلومة . وبجمع المعادلتين ، ٢ س = ٢٠″ ٢٤′ ومنها نوجد س .

مثال (٧) :

ما هو أكبر خطأ يحدث فى زاوية أفقية قيست بجهاز تيودوليت يفترق فيه

مركزا الورنيتين والدائرة الأفقية بمقدار ٠,٢ مم إذا كان قطر الدائرة الأفقية ١٢٠ مم .

الحـــل :

ں = ٦٠ مم   ∈ = ٠,٢ مم

أكبر خطأ هو هـ″ = $\frac{\in}{ں}$. ϱ″

هـ″ = $\frac{٢}{٦٠٠}$ × ٢٠٦٢٦٥

= ٦٨٧,٥″ = ٢٧,٥″ ١١′

مثال (٨) :

ا ب حـ زاوية أفقية فيها زاويتا إرتفاع طرفاه ا ، حـ هما ١٥′ ٣٢° ، صفر° على الترتيب ، وقيمتها الصحيحة هى ٤٥,٢″ ١٤′ ٤١° . قيست هذه الزاوية بواسطة تيودوليت يختلف فيه إرتفاع الحاملين فقط فكانت ٢٠″ ١٤′ ٤١° . عين ميل المحور الأفقى لهذا التيودوليت وأى الحاملين يرتفع عن الآخر .

الحـــل :

بما أن الزاوية الصحيحة أكبر من الزاوية المقيسة فيكون الحامل الأيمن مرتفعاً عن الحامل الأيسر .

الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة + $هـ_١$

$هـ_١$ = ٤٥,٢″ ١٤′ ٤١° ـــ ٢٠″ ١٤′ ٤١°

= ٢٥,٢″

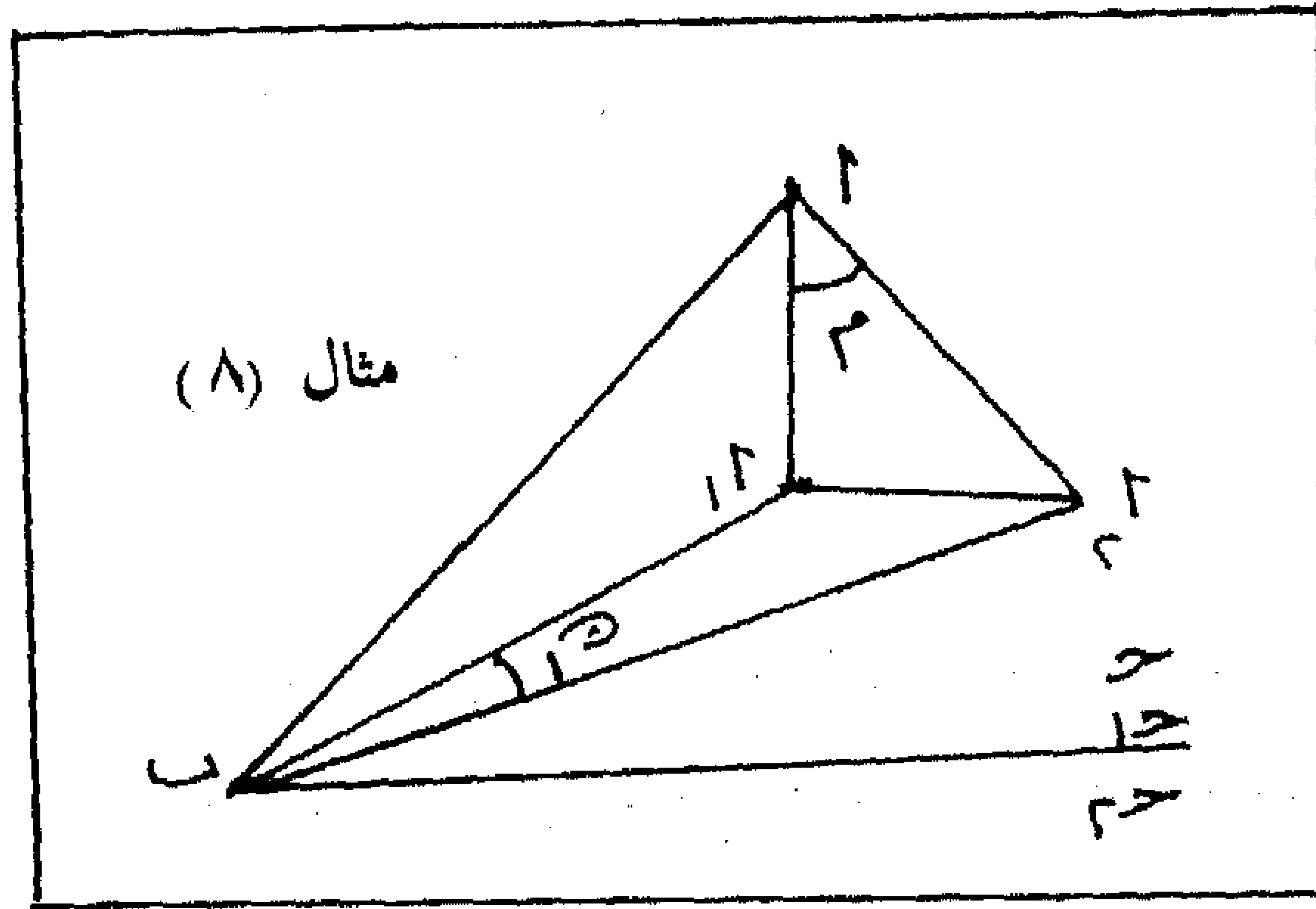
بفرض أن ميل المحور الأفقى هو م

$هـ″_١$ = م″ ظا ص١

$$م'' = \frac{هـ''_{1}}{ظا\ ص_{1}} = \frac{٢٥{,}٢''}{ظا\ ١٥'\ ٥٣٢}$$

$$= \frac{٢٥{,}٢''}{٠{,}٦٣١} = ٤٠''$$

ميل المحور الأفقى ٤٠″ والحامل الأيمن يرتفع عن الحامل الأيسر .



مثال (٩) :

تيودوليت قطر حافته الأفقية خمس بوصات . فإذا كان طول الخطأ الحادث فيه نتيجة عدم إنطباق مركز الدائرة الأفقية ومركز دائرة الورنيات هو ٠,٠٢٧٧ م وكانت قراءة إحدى ورنياته هى ٤٠″ ٥١′ ٠٠° فما هى القراءة المحتملة للورنية الأخرى وما هى الزاوية الحقيقية ؟

الحـــل :

الأختلاف المركزى = س . هـ دائرى

$$هـ'' = \frac{٠{,}٠٢٧٧ \times ٢٠٦٢٦٥}{٢{,}٥ \times ٢٥{,}٤} = ٩٠''$$

بفرض أن الزاوية الحقيقية هى س

∴ س = ٤٠″ ٥١′ ± هـ = ٤٠″ ٥١′ ± ٩٠″

$س_1 = ١٠'' ٥٣'$

$س_2 = ١٠'' ٥٠'$

القراءة المحتملة للورنية الأخرى هى ٤٠'' ٥٤' ١٨٠°

أو القراءة المحتملة للورنية الأخرى هى ٤٠'' ٤٨' ١٨٠°

مثال (١٠)

تيودوليت يختلف فيه أرتفاعا الحاملين . قيست به زاوية أفقية منفردة (ا ب حـ) والجهاز متيامن فكانت ٣٦'' ٢٠' ٤٢° . ثم قيست (ا ب حـ) أيضاً فى وضع متياسر (بدأنا بقياس الطرف ا ثم حـ) فكانت ٤٤'' ١٤' ٤٢° فإذا كانت زاويتا إرتفاع طرفى الزاوية ا ، حـ هما ٦٠° ، ٤٥° على الترتيب فما هى قيمة الزاوية الأفقية الصحيحة ومقدار ميل المحور الأفقى .

الحـــل :

الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة ـــ $هـ_1$ + $هـ_2$ فى الموضع المتيامن

الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة + $هـ_1$ ـــ $هـ_2$ فى الموضع المتياسر

الزاوية المقيسة (متيامن) = الزاوية الصحيحة + $هـ_1$ ـــ $هـ_2$

الزاوية المقيسة (متياسر) = الزاوية الصحيحة ـــ $هـ_1$ + $هـ_2$

وهذه المعادلات صحيحة حيث أن $هـ_1$ > $هـ_2$ لأن ٦٠° > ٤٥°

∴ الزاوية الصحيحة = متوسط الزاويتين المقيستين

$$= \frac{٣٦'' ٢٠' ٤٢° + ٤٤'' ١٤' ٤٢°}{٢}$$

$$= ٤٠'' ١٧' ٤٢°$$

٣٦″ ٢٠′ ٥٤٢ = ٤٠″ ١٧′ ٥٤٢ + م ظا ٦٠° — م ظا ٥٤٥

٥٦″ ٢′ = م (١,٧٣٢ — ١,٠٠٠)

∴ م = ٢٤٠″ = ٤′

مســائل

١ — حدث خلل فى تمركز قرص الورنيات مع حافة التدريج مما ظهرت آثاره عند قياس زاوية به . فعند قراءة الإتجاه على أحد الأهداف كانت قراءة ورنية ا = ٤٠″ ١٧′ ٦٤° ورنية ب = ٢٠″ ١٤′ ٢٤٤° . أوجد مقدار إبتعاد مركزى الدائرتين بطريقتين وذلك إلى أقرب رقمين عشريين من الملليمتر وبين أى الطريقتين أكثر صحة ولماذا ؟ إعتبر قطر كل من الدائرتين ٦ بوصات .

٢ — تيودوليت جميع شروط الضبط الدائم به مستوفاة ما عدا أن خط النظر ينحرف عن المحور الضوئى للمنظار بمقدار ٣٠′ ١° قيست به زاوية أفقية بين نقطتين ا ، ب زاويتا أرتفاعهما هما ١٨′ ٤٠° ، ٤٠′ ١١° على التوالى . ما مقدار الخطأ فى قياس الزاوية الأفقية ؟ كم يكون مقدار الخطأ لو كانت الزاوية الأولى زاوية إنخفاض ؟

٣ — المحور الأفقى لدوران المنظار فى تيودوليت يميل على الأفقى بمقدار خمس دقائق . ما مقدار الخطأ الذى يحدث عند إسقاط نقطة على بعد ٢٠٠ متر رأسياً بواسطة التيودوليت من زاوية إرتفاع + ٦٠° إلى صفر° بدون عكس وضع المنظار (الجواب ٠,٢٩٠ من المتر) .

٤ — إذا كان خط النظر يصنع زاوية قدرها ٥٥′ ٨٨° مع المحور الأفقى فى تيودوليت . ما الخطأ الذى يحدث عند إسقاط نقطة على بعد ٤٠٠ متر (المسافة المائلة) من التيودوليت من زاوية إرتفاع ٨٠° إلى صفر° بدون عكس وضع المنظار .

٥ ــ تيودوليت قطر قرص دائرته الأفقية خمس بوصات فيه مركزا القرصين يفترقان بمقدار ٠,٠٥ من البوصة أوجد :

أولاً ــ أكبر خطأ (بالثوانى) يمكن أن يحدث فى ورنية واحدة نتيجة لهذا الإفتراق .

ثانياً ــ أكبر خطأ إذا كان نصف القطر سبع بوصات .

٦ ــ وضع سلك رفيع مشدود رأسياً على بعد ٥٠ متراً من تيودوليت وبعد تسوية الجهاز أفقياً أدير المنظار بزاوية ارتفاع قدرها ٣٠° ورصد به السلك فكانت نقطة تقاطع الشعرات منطبقة تماماً على السلك ، وبتخفيض المنظار إلى الأفق وجد أن خط النظر منحرف إلى يمين السلك بمقدار ٣,٢ مم .

وبتخفيض المنظار تدريجياً تحت الأفق وجد أن خط النظر قد أخذ فى الأقتراب ، فلما بلغت زاوية الإنخفاض ٣٠° كان إنحراف خط النظر عن السلك ١,٦ مم . أذكر الأجزاء التى تحتاج إلى إصلاح وبين كيفية ضبطها .

٧ ــ تيودوليت يرتفع فيه الحامل الأيمن للمحور الأفقى عن الحامل الأيسر بحيث كان ميل هذا المحور عن الأفقى ٤٥ دقيقة . رصدت به الزاوية ا ب حـ على الدائرة الأفقية فكان مقدارها ٢٠′ ٤٦° . أوجد القيمة الصحيحة للزاوية المذكورة إذا كانت زاوية إرتفاع النقطة ا = ٤٨′ ٧٤° وزاوية إنخفاض النقطة حـ (النقطة إلى اليمين)= ٤٠′ ٣٦° . كم تكون الزاوية الصحيحة لو كانت الزاوية الأولى زاوية إنخفاض أيضاً ــ هل لو رصدت الزاوية مرة أخرى على وجه آخر وأخذت المتوسط فهل تحصل على القيمة الصحيحة ولماذا ؟

٨ ــ ا ــ تيودوليت ينخفض فيه الحامل الأيسر للمحور الأفقى عن الحامل الأيمن بحيث كان ميل المحور الأفقى ١٨ دقيقة . رصدت به زاوية أفقية ا ب حـ فكانت قيمتها ١٨′ ٦° . وكانت زاوية إرتفاع ا (نقطة بدء الرصد) = ٤٦° وزاوية إنخفاض حـ = ٨٧° . أوجد القيمة الصحيحة للزاوية الأفقية .

ب ــ تيودوليت نصف قطر حافته الأفقية قدره (س) ملليمتر . أفترق فيه مركزا قرصيه بمقدار ثلاثة ملليمترات . قيست به زاوية أفقية فكانت قراءة الورنية ا = ٣٠″ ٤٦′ ٨٤° ، ب = ٠٠″ ٢٢′ ٢٦٤° ما مقدار نصف قطره (س) إلى أقرب رقم عشر ملليمتر صحيح .

٩ ــ ا ــ تيودوليت يرتفع فيه الحامل الأيمن للمحور الأفقى عن الحامل الأيسر بحيث كان ميل هذا المحور عن الأفقى ٩ دقائق ، رصد به الزاوية ا ب حـ على الدائرة الأفقية فكانت قيمتها ٤٢′ ٣٧° على وجه واحد للجهاز ، أوجد القيمة الصحيحة للزاوية المذكورة إذا كانت زاوية إرتفاع النقطة ا = ٣٦′ ٥٤° وزاوية إرتفاع النقطة حـ = ١٢′ ٣٥° .

ب ــ فى جهاز تيودوليت يميل محور أنبوبة ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية بمقدار ١,٠ من الزاوية القائمة . قيست الزاوية الأفقية ا ب حـ فكانت ٠٠′ ١٤° . عين مع البرهان القيمة الصحيحة لهذه الزاوية .

١٠ ــ عند القيام بتشكيل عدة قطاعات عرضية بواسطة التيودوليت فى أرض غير ممهدة أراد المهندس حساب منسوب المحور الأفقى لدوران منظار التيودوليت فى أحد أوضاعه ، فأخذ قراءتين على قامة وضعت رأسية فوق روبير أوطى من التيودوليت ومنسوبه ٥٨,٠٥ م فكانتا ٢,٩٥٢ ، ٠,٩٨٨ متراً على خطى نظر يميلان إلى أسفل بزاويتى إنخفاض ٢٠′ ٩° ، ٤٥′ ١٠° على التعاقب . أحسب منسوب المحور الأفقى .

١١ ــ ما هو الخطأ فى قياس الزاوية الأفقية ا ب حـ إذا كان الرصد على أعلى نقطة فى الشواخص عند ا ، حـ وكان الشخصان مائلان للخارج بمقدار ٢٠′ ١° وطول كل منهما ١ متر والبعد ا ب = ١٠٠ وإذا كانت الزاوية ا ب حـ = ٤٠″ ٤٥′ ١١٠° فما هى القيمة المصححة للزاوية .

١٢ ــ ا ــ رصدت الزاوية الأفقية بين نقطتين فكانت ٢٢′ ٢٨° وزاوية

إرتفاع إحدى النقطتين ٧٢° وزاوية إرتفاع النقطة الأخرى ٢٨° والمحور الأفقى لدوران المنظار يميل بمقدار ٢′ . ما مقدار الزاوية الأفقية الصحيحة .

ب ــ رصدت زاوية أفقية فكانت القراءة على الورنية I هى ٣٠″ ١٨′ ٣٠° وعلى الورنية II هى ٣٠″ ٤٨′ ٢١٠° . أوجد الإختلاف المركزى إذا كان نصف القطر ٦٠ ملليمتر .

١٣ ــ بناء إرتفاعه ٦٠ متر رصدت الزاوية الأفقية بين قمته وبين شاخص رأسى فوجدت أنها تساوى ٤٤″ ٤٥′ ٤٤° . فإذا كانت المسافة بين التيودوليت والبناء غير معلومة . أوجد هذه المسافة إلى أقرب سنتيمتر مستعملاً أحد القوانين المعلومة علماً بأن ميل البناء على الرأسى = ٢° والزاوية من الشاخص وأسفل البناء = ٣٠″ ٤٩′ ٤٤° .

(الجواب ١٨٦١ متر)

١٤ ــ لإختبار تأثير الإنفجارات على المنشئات وضعت علامة على أحد الأعمدة . ما هى الإجراءات التى تجريها مبيناً بأرقام مناسبة من عندك كيف تعين بدقة تامة مدى تحرك العلامة على العمود فى الإتجاه الأفقى بعد الإنفجار عنه قبل الإنفجار علماً بأن دائرة تأثير الإنفجار هى فى حدود ٢٠٠ متر تقريباً من العمود .

١٥ ــ لتخطيط امتداد الخط ا ب من ا ب إلى و وضع التيودوليت فى نقط متتابعة ب ، حـ ، ى ، هـ .

وذلك بالرصد خلفياً إلى ا ، ب ، حـ ، ى على الترتيب ثم يقلب المنظار فإذا كان خط النظر يضع زاوية مقدارها ٤٠″ ١′ مع العمودى على المحور الأفقى وكانت النظرات الخلفية دائماً والجهاز متيامن فما هو :

أولاً ــ الخطأ الزاوى فى الجزء هـ و .

ثانياً ــ ما هو الخطأ فى وضع (و) عمودياً على الإتجاه الصحيح إذا كان

ا ب = ٣٥٠ متر ، ب حـ = ٢٥٠ متر ، حـ ء = ء هـ = ٢٠٠ متر ، هـ و = ١٤٠ متر .

١٦ ــ تيودوليت ينحرف خط النظر فيه عن المحور الضوئى بمقدار م ، أثبت أن الخطأ فى قياس زاوية أفقية ا ب حـ بهذا الجهاز هو $ظا^{-1} \left(\frac{ظا\ م}{جتا\ س} \right)$ ــ $ظا^{-1} \left(\frac{ظا\ م}{جتا\ ص} \right)$ حيث س ، ص هما زاويتى إرتفاع النقطتين ا ، ب على الترتيب .

١٧ ــ قيست زاوية أفقية ا ب حـ بجهاز تيودوليت يميل فيه المحور الرأسى ″٤٠ عن الرأسى . فما مقدار الخطأ الحادث فى قياس هذه الزاوية إذا كانت زاويتى إرتفاع طرفاها هما ′١٥ °٣٢ ، صفر° على الترتيب .

الجواب (الخطأ = ″٢٥)

١٨ ــ الخطأ الحادث فى قياس زاوية أفقية ا ب حـ بجهاز تيودوليت يختلف فيه إرتفاع الحاملين عن بعضهما هو ″٦٠ . ما هو ميل المحور الأفقى فى هذا الجهاز إذا كانت زاوية إرتفاع ا هى ′٣٤ °٣٣ وزاوية ارتفاع ب هى صفر .

الباب الرابع

تعيين الأرتفاعات والمسافات بالتيودوليت

أولاً ـــ تعيين الأرتفاعات

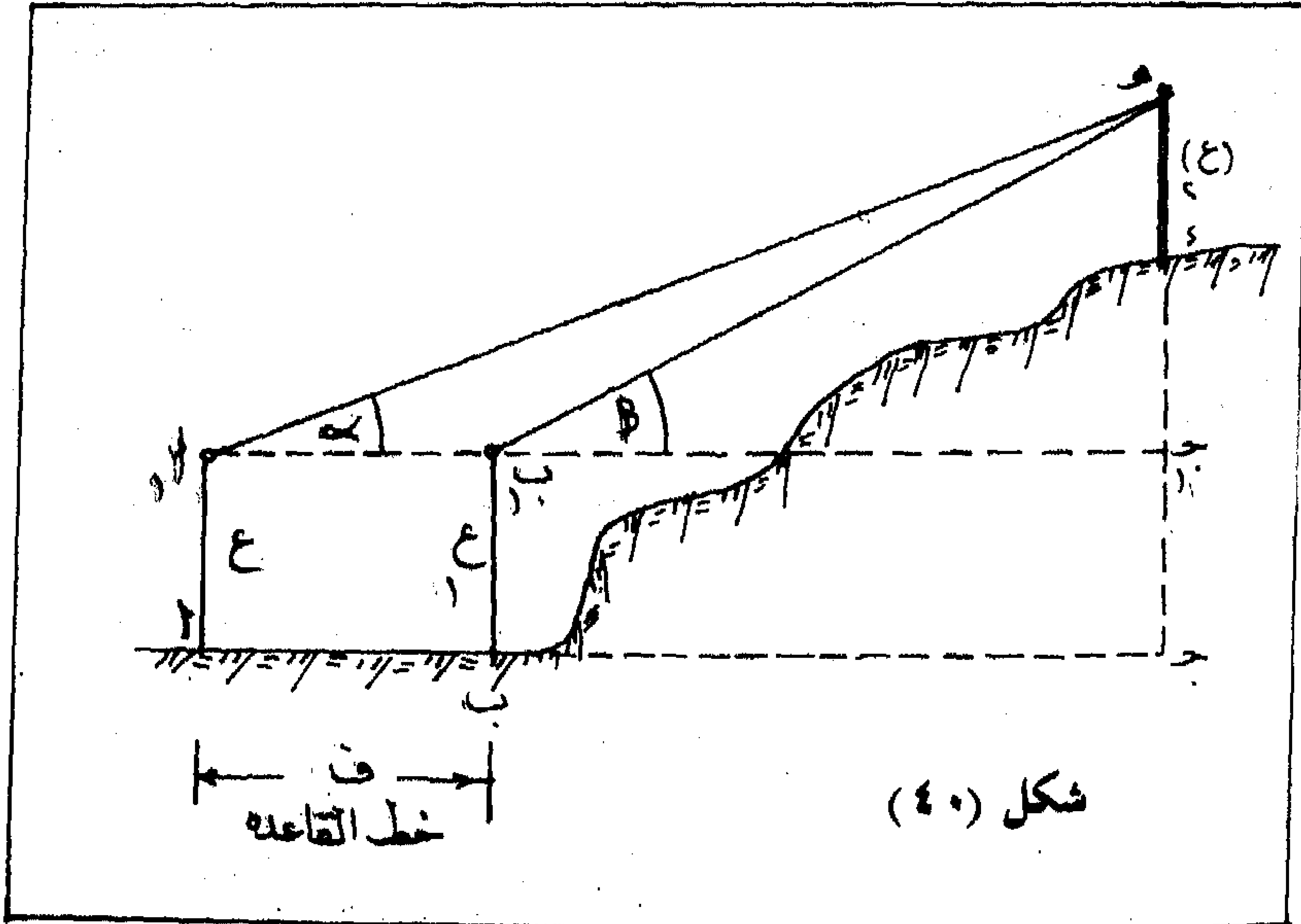
I ـــ تعيين ارتفاع قمة هدف وقاعدته عن نقطة أرضية ولا يمكن الوصول إلى قمة أو قاعدة الهدف

نختار خط قاعدة ونقيس طوله بدقة ونرصد أيضاً الزاويتين عند طرفى القاعدة .

ا ـــ حالة خط القاعدة أفقى والهدف يقع على أمتداد القاعدة :

فى شكل (٤٠) نفرض أن :

طول خط القاعدة ا ب = ف ، طول الهدف = $ع_٢$



شكل (٤٠)

$ا_١ حـ_١ = هـ حـ_١$ ظتا α

$ب_١ حـ_١ = هـ حـ_١$ ظتا β

$ا_١ ب_١ = ا_١ حـ_١ - ب حـ_١ = هـ حـ_١$ (ظتا α ــ ظتا β)

∴ $هـ حـ_١ = \frac{ا ب}{\text{ظتا } \alpha - \text{ظتا } \beta}$

ارتفاع قمة الهدف هـ عن النقطة الأرضية ا =

$\frac{\text{طول خط القاعدة (ف)}}{\text{ظتا } \alpha - \text{ظتا } \beta}$ + ارتفاع الجهاز ($ع_١$)

(١٧) ....

ارتفاع الأرض عند ء قاعدة الهدف = $\frac{\text{طول خط القاعدة (ف)}}{\text{ظتا } \alpha - \text{ظتا } \beta} + ع_١ - ع_٢$

عن النقطة الأرضية ا

(١٨) ......

وفى الحالات الثلاثة التالية ستعين ارتفاع القمة عن النقطة الأرضية ا ، ثم لايجاد ارتفاع الأرض (ء) عند الهدف نطرح ارتفاع الهدف ($ع_٢$) أو نرصد ء بدلاً من هـ ونطبق نفس المعادلات .

ب ــ حالة خط القاعدة أفقي والهدف ليس على امتداد القاعدة :

فى شكل (٤١) :

الزوايا المقيسة عند ا : الزاوية الأفقية θ

: الزاوية الرأسية α

عند ب : الزاوية الأفقية ϕ

: الزاوية الرأسية β

فى المثلث ا ب حـ :

ا حـ = ا ب جا ϕ قتا ($\theta + \phi$) (قانون الجيوب)

، ب حـ = ا ب جا θ قتا ($\theta + \phi$)

∴ حـ$_1$ هـ = ا حـ ظا α

= ا ب جا ϕ قتا ($\theta + \phi$) . ظا α

وكذلك حـ$_1$ هـ = ب حـ ظا β

= ا ب جا θ قتا ($\theta + \phi$) . ظا β

ارتفاع (هـ) قمة الهدف عن النقطة الأرضية ا = حـ$_1$ هـ + ع$_1$

ارتفاع هـ قمة الهدف عن النقطة الأرضية ا = ف جا ϕ قتا ($\theta + \phi$) ظا α + ع$_1$ = ف جا θ قتا ($\theta + \phi$) ظا β + ع$_1$

..... (١٩)

حـ ـ حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف على أمتداد القاعدة

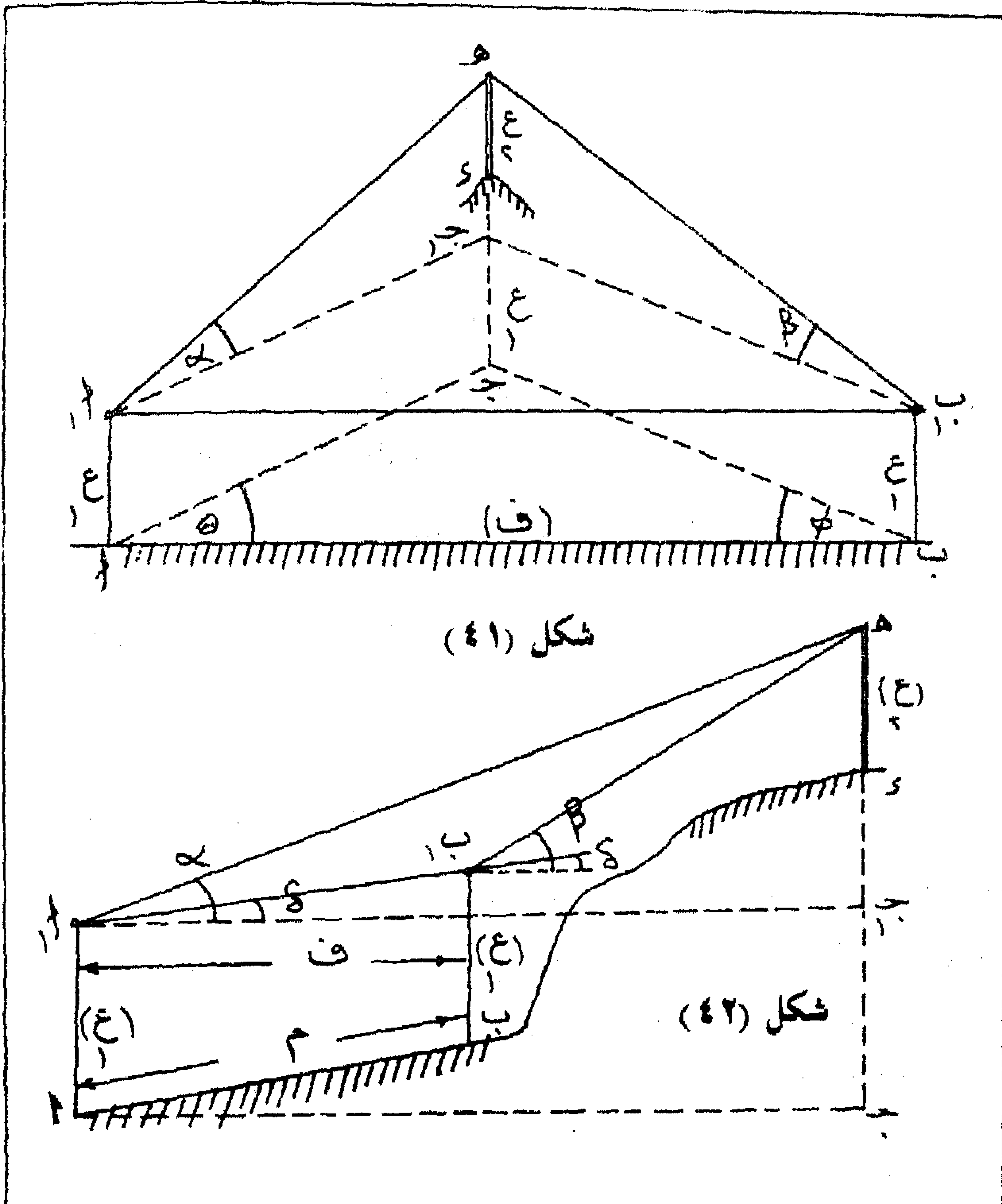
فى شكل (٤٢) الزوايا المرصودة .

عند ا : الزاوية الرأسية α (للهدف)

الزاوية الرأسية δ (ميل الأرض)

عند ب : الزاوية الرأسية β (للهدف)

المسافة المائلة ا ب = م



شكل (٤١)

شكل (٤٢)

فى المثلث $ا_1$ هـ $ب_1$

الزاوية عند $ا_1$ = $\alpha - \delta$

الزاوية عند $ب_1$ = $180^\circ - (\beta - \delta)$

الزاوية عند هـ = $\beta - \alpha$

∴ $ا_1$ هـ = $ا_1 ب_1$ جا $\{180^\circ - (\beta - \delta)\}$ قتا $(\beta - \alpha)$

= ا ب جا $(\beta - \delta)$ قتا $(\beta - \alpha)$

ارتفاع هـ قمة الهدف عن ا = هـ حـ + ع١

= ا١ هـ جا α + ع١

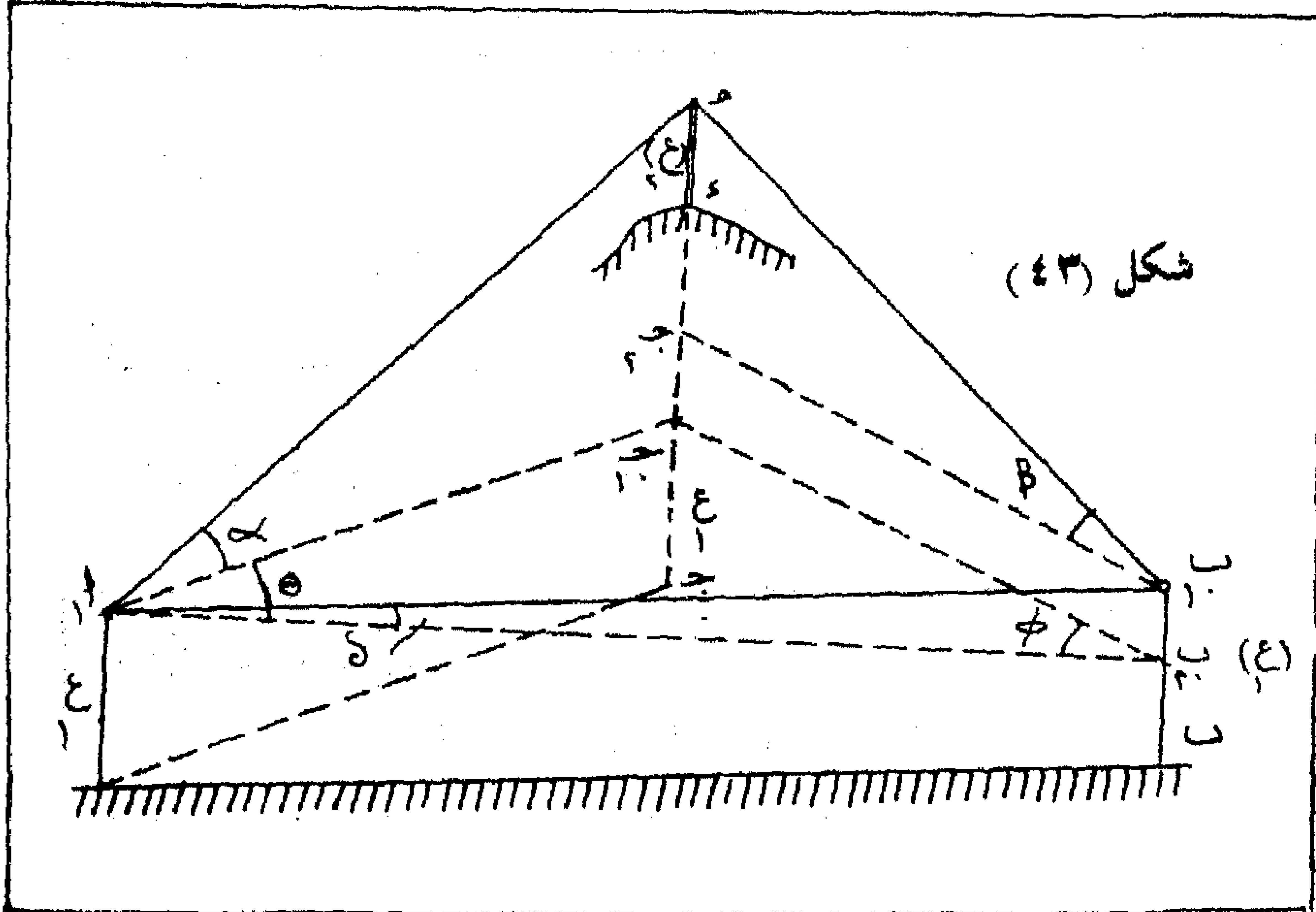
ارتفاع هـ قمة الهدف عن النقطة الأرضية ا =

م جا (β ـ δ) قتا (β ـ α) جا α + ع١

...... (٢٠)

ء ـ حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف ليس على امتداد القاعدة :

فى شكل (٤٣) الزوايا المرصودة



عند ا : الزاوية الأفقية θ

الزاوية الرأسية α (للهدف)

الزاوية الرأسية δ (ميل الأرض)

عند ب : الزاوية الأفقية ϕ

الزاوية الرأسية β (للهدف)

المسافة المائلة ا ب = م

$ا_1 ب_2 = ا ب جتا \delta$

$ا_1 حـ_1 = ا_1 ب_2$ جا ϕ قتا $(\theta + \phi)$

$هـ حـ_1 = ا_1 حـ_1$ ظا α

= ا ب جتا δ جا ϕ قتا $(\theta + \phi)$ ظا α ...... (٢١)

ارتفاع هـ قمة الهدف فوق النقطة الأرضية ا = هـ حـ = $هـ حـ_1 + ع_1$

ارتفاع هـ قمة الهدف فوق ا الأرضية = م جتا δ جا ϕ قتا $(\theta + \phi)$ ظا α + $ع_1$

..... (٢٢)

وبالمثل :

$ب_1 حـ_2 = ب_2 حـ_1 = ا_1 ب_2$ جا θ قتا $(\theta + \phi)$

$هـ حـ_2 = ب_1 حـ_2$ ظا β

ارتفاع هـ فوق ا = هـ حـ = $هـ حـ_2 + ب_1 ب_2 + ع_1$

ارتفاع هـ قمة الهدف فوق ا = م جتا δ جا θ قتا $(\theta + \phi)$ ظا β + م جا δ + $ع_1$

...... (٢٣)

ارتفاع النقطة الأرضية فوق ا = $هـ حـ_1 + ع_1 - ع_2$ = $هـ حـ_2 + ع_1 - ع_2$ + م جا δ

...... (٢٤)

II ــ تعيين طول هدف يمكن رؤية كل من قاعدته وقمته ولا يمكن الوصول إليهما

ا ــ حالة خط القاعدة الأفقية أفقى والهدف على أمتداد القاعدة

المطلوب ايجاد (ع) أرتفاع الهدف . شكل (٤٤) والزوايا المرصودة :

عند ا : الزاويتان الرأسيتان : α_1 ، α_2

عند ب : الزاويتان الرأسيتان : β_1 ، β_2

$$ح_١ هـ = \frac{ا ب}{ظتا \alpha_1 - ظتا \beta_1}$$

$$ح_١ ء = \frac{ا ب}{ظتا \alpha_2 - ظتا \beta_2}$$

حينئذ هـ ء = ح١ هـ ــ ح١ ء = ع

$$ارتفاع الهدف (ع) = ف \left\{ \frac{1}{ظتا \alpha_1 - ظتا \beta_1} - \frac{1}{ظتا \alpha_2 - ظتا \beta_2} \right\}$$

...... (٢٥)

ب ــ حالة خط القاعدة أفقى والهدف ليس على امتداد القاعدة

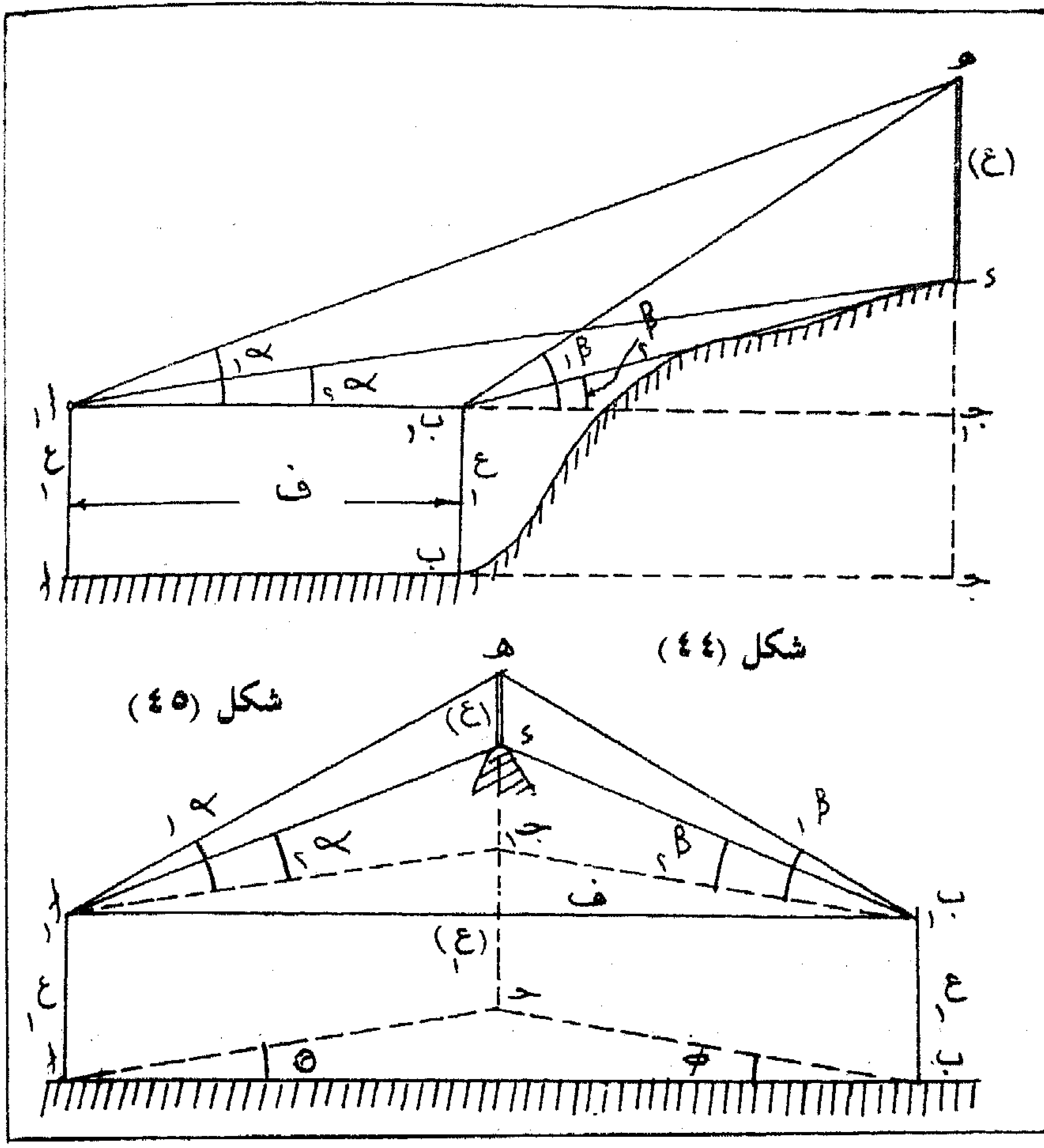
فى شكل (٤٥) خط القاعدة الأفقية = ا ب = ف

الزوايا المرصودة عند ا : الزاويتان الرأسيتان α_1 ، α_2

: الزاوية الأفقية θ

الزوايا المرصودة عند ب : الزاويتان الرأسيتان β_1 ، β_2

: الزاوية الأفقية ϕ



شكل (٤٤)

شكل (٤٥)

اجـ = ا١ جـ١ = اب جا ϕ قتا $(\theta + \phi)$

هـ ى = ع = اجـ (ظا α_1 ــ ظا α_2)

ع = ف جا ϕ قتا $(\theta + \phi)$ (ظا α_1 ــ ظا α_2)

.... (٢٦)

وبالمثل :

$$ع = ف \text{ جا } \theta \text{ قتا } (\theta + \phi) \text{ (ظا } \beta_1 - \text{ ظا } \beta_2 \text{)}$$

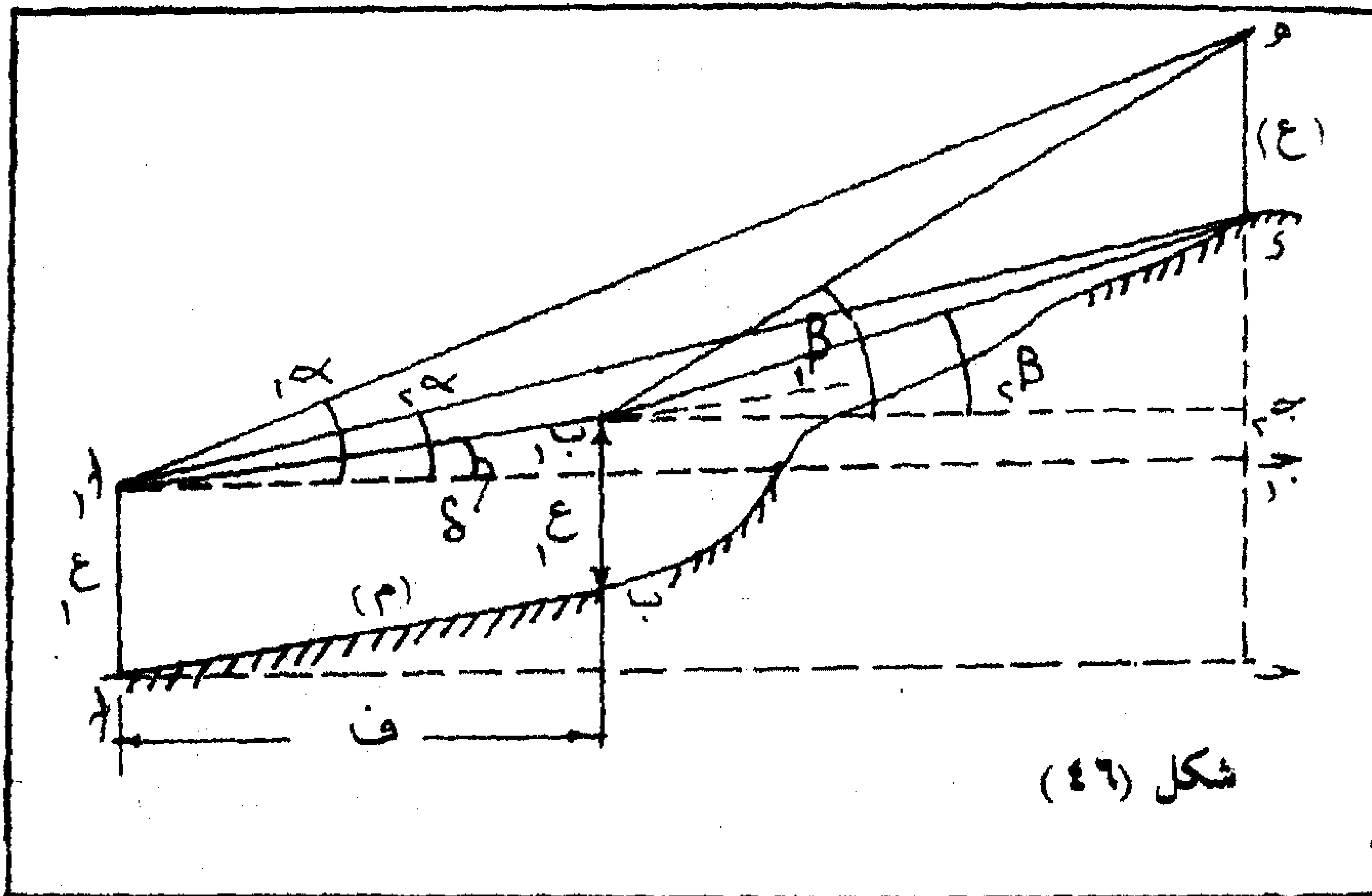
(٢٧) ....

(حـ) حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف على امتداد خط القاعدة

فى شكل (٤٦) خط القاعدة المائل ا ب = م

الزوايا الرأسية المرصودة عند ا : α_1 ، α_2 ، δ

الزوايا الرأسية المرصودة عند ب : β_1 ، β_2



شكل (٤٦)

من المعادلة (٢٠)

$$هـ حـ_1 = ا ب \text{ جا } (\beta_1 - \delta) \text{ قتا } (\beta_1 - \alpha_1) \text{ جا } \alpha_1$$

$$ء حـ_1 = ا ب \text{ جا } (\beta_2 - \delta) \text{ قتا } (\beta_2 - \alpha_2) \text{ جا } \alpha_2$$

هـ ء = هـ حـ$_{١}$ ــ ء حـ$_{١}$

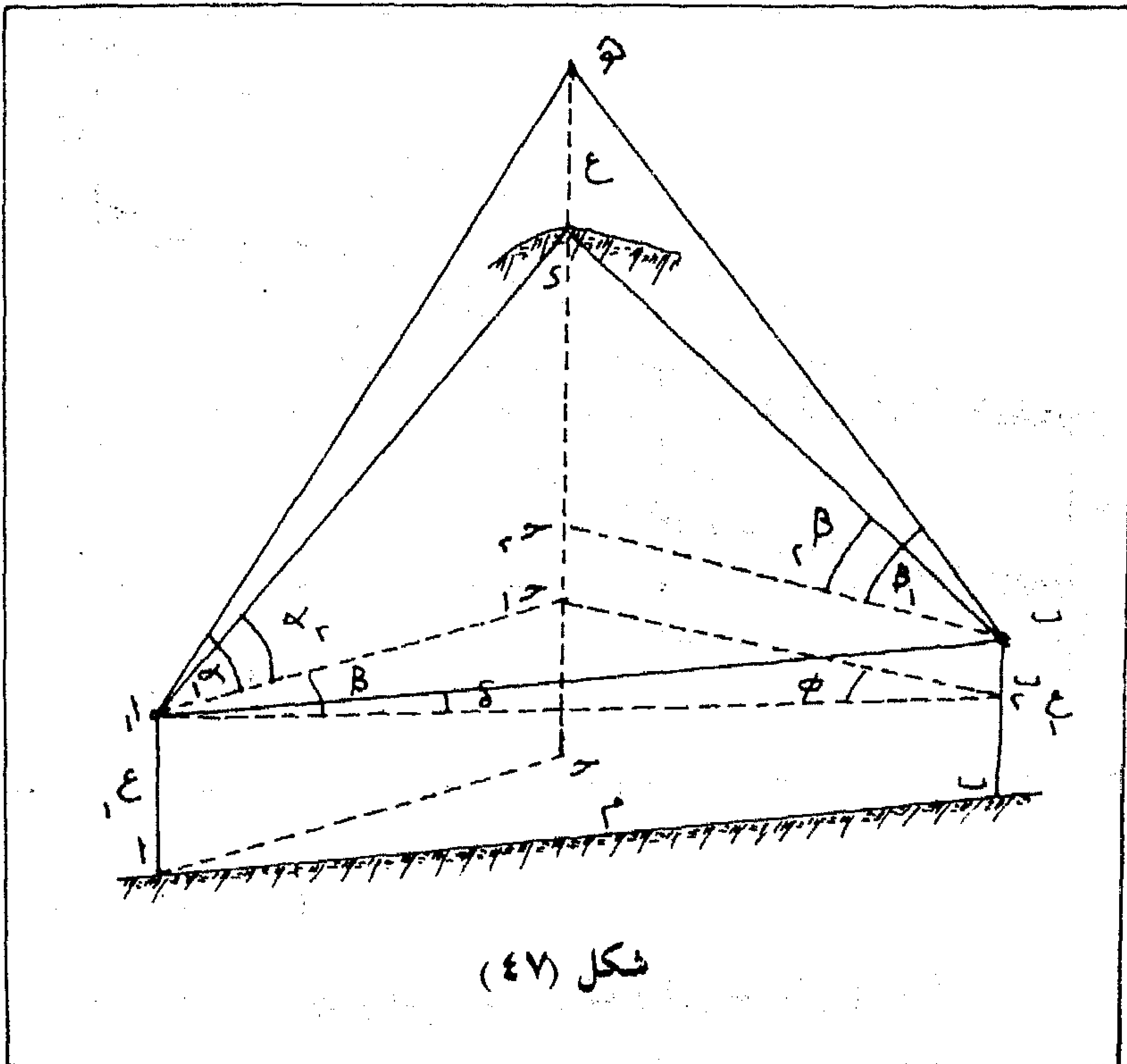
∴

ع = م [جا (β_1 ــ δ) قتا (β_1 ــ α_1) جا α_1 ــ
جا (β_2 ــ δ) قتا (β_2 ــ α_2) جا α_2]

...... (٢٨)

ء ــ حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف ليس على امتداد خط القاعدة

فى شكل (٤٧) الزوايا المقيسة



شكل (٤٧)

عند ا : الزاوية الأفقية θ

الزوايا الرأسية α_1 ، α_2

ميل الأرض δ

عند ب : الزاوية الأفقية ϕ

الزوايا الرأسية β_1 ، β_2

من المعادلة (٢١)

هـ حـ$_1$ = ا ب جتا δ جا ϕ قتا (θ + ϕ) ظا α_1

ء حـ$_1$ = ا ب جتا δ جا ϕ قتا (θ + ϕ) ظا α_2

ع = هـ ء = هـ حـ$_1$ ــ ء حـ$_1$

ع = م جتا δ جا ϕ قتا (ϕ + θ) (ظا α_1 ــ ظا α_2) ... (٢٩)

= م جتا δ جا θ قتا (ϕ + θ) (ظا β_1 ــ ظا β_2) ... (٣٠)

III ــ تعيين طول هدف مائل
(عامود علم مائل مثلاً) على قمة مبنى

فى شكل (٤٨) .

يقاس خط القاعدة ا ب ، وإذا كانت الأرض مائلة تحسب المسافة الأفقية .

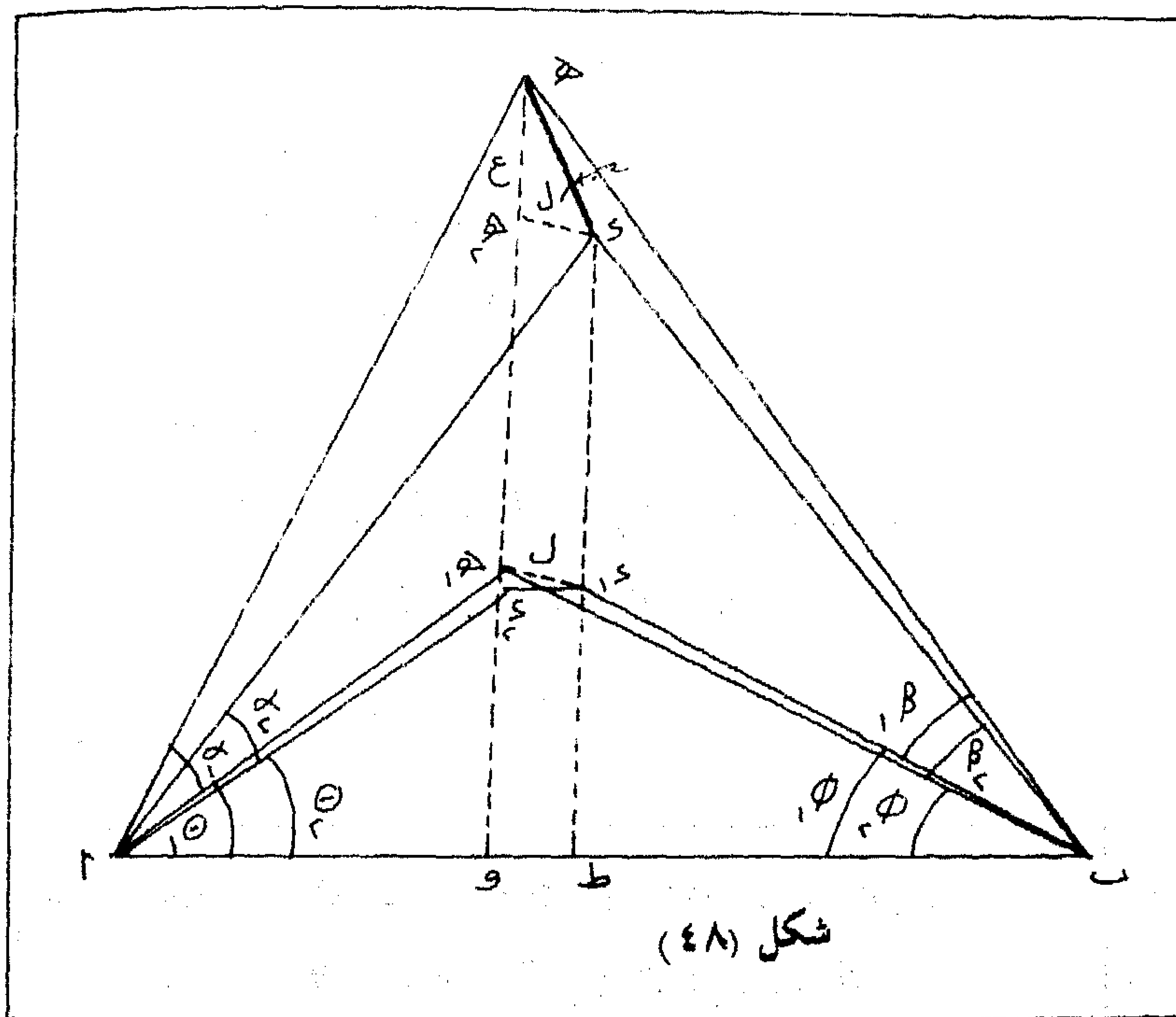
الزوايا المقيسة عند ا :

الزوايا الأفقية θ_1 ، θ_2 لقمة وقاعدة العمود المائل

الزوايا الرأسية α_1 ، α_2 لقمة وقاعدة العمود المائل

الزوايا المقيسة عند ب :

الزوايا الأفقية ϕ_1 ، ϕ_2 لقمة وقاعدة العمود المائل



شكل (٤٨)

الزوايا الرأسية β_1 ، β_2 لقمة وقاعدة العمود المائل

فى المسقط الأفقى فإن طول هـ ى = هـ$_1$ ى$_1$ (= هـ$_2$ ى)

فى المسقط الرأسى طول هـ ى = هـ هـ$_2$ أى الفرق فى الأرتفاع

∴ ا هـ$_1$ = ا ب جا ϕ_1 قتا ($\theta_1 + \phi_1$)

وكذلك ا ى$_1$ = ا ب جا ϕ_2 قتا ($\theta_2 + \phi_2$)

الطول هـ$_1$ ى = ل وأفضل أن يكون حسابه باستعمال الأحداثيات .

نفرض أن أنحراف ا ب = $180^\circ\ 00'$

ا و = ا هـ$_1$ جا ($90 - \theta_1$) = ا هـ$_1$ جتا θ_1

ا ط = ا ى$_1$ جا ($90 - \theta_2$) = ا ى$_1$ جتا θ_2

حينئذ :

و ط = ء$_{٢}$ ء$_{١}$ = ا ط ــ ا و

= ا ء$_{١}$ جتا $\theta_{٢}$ ــ ا هـ$_{١}$ جتا $\theta_{١}$

وبالمثل هـ$_{١}$ ء$_{٢}$ = هـ$_{١}$ و ــ ء$_{٢}$ و = ا هـ$_{١}$ جا $\theta_{١}$ ــ ا ء$_{١}$ جا $\theta_{٢}$

فى المثل هـ$_{١}$ ء$_{١}$ ء$_{٢}$

انحراف اتجاه الميل (بالنسبة للخط ا ب) = ظا$^{-١}$ $\dfrac{\text{ء}_{٢}\ \text{ء}_{١}}{\text{هـ}_{١}\ \text{هـ}_{٢}}$ .... (٣١)

طول ء$_{١}$ هـ$_{١}$ = هـ$_{١}$ ء$_{٢}$ (قا الأنحراف) .... (٣٢)

ولإيجاد فرق الأرتفاع هـ هـ$_{٢}$

ارتفاع القمة فوق ا = ا هـ$_{١}$ ظا $\alpha_{١}$

ارتفاع القاعدة فوق ا = ا ء$_{١}$ ظا $\alpha_{١}$

طول هـ هـ$_{٢}$ = ا هـ$_{١}$ ظا $\alpha_{١}$ ــ ا ء$_{١}$ ظا $\alpha_{٢}$ .... (٣٣)

لإيجاد طول العمود :

فى المثلث هـ ء هـ$_{٢}$

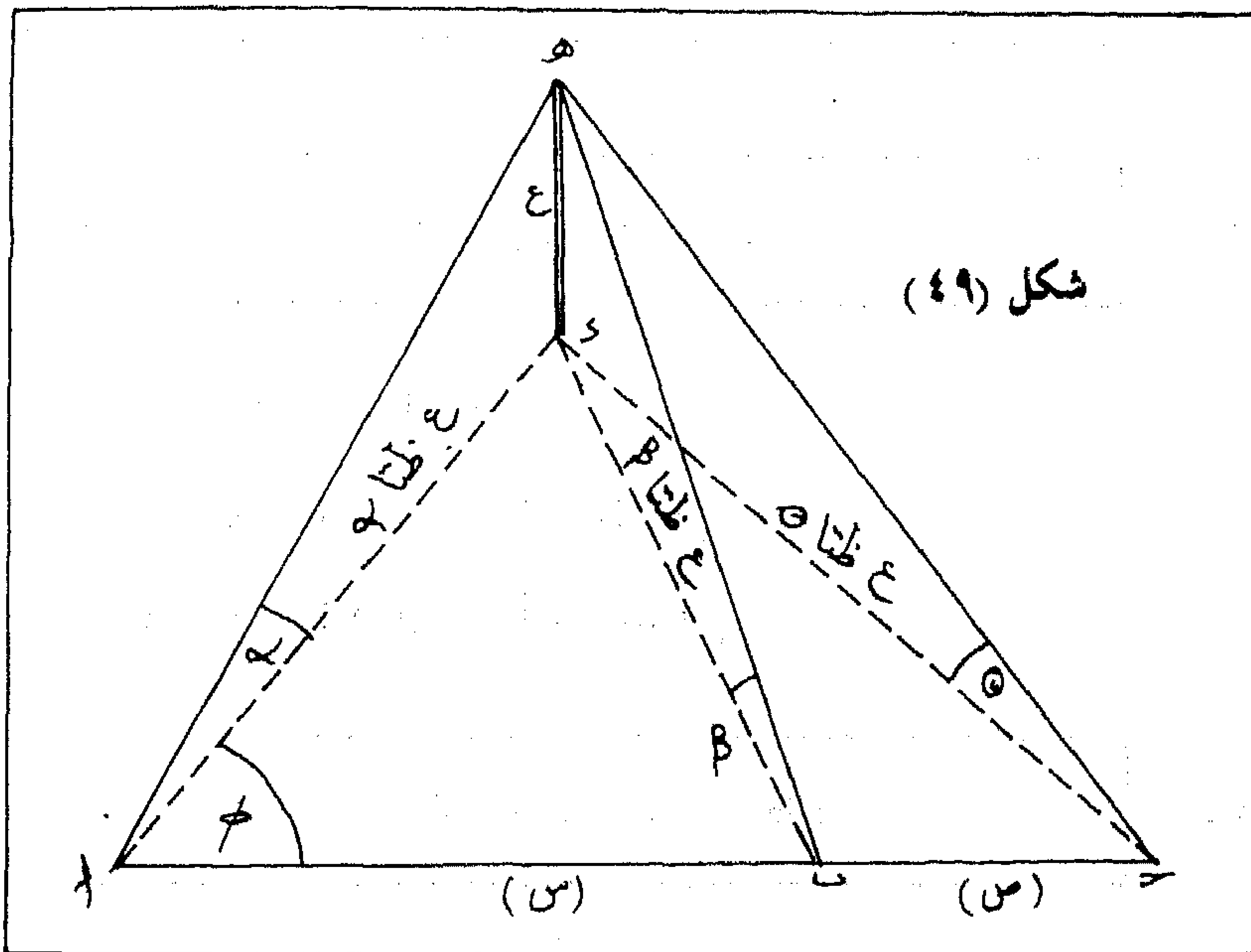
(هـ ء)^{٢} = (هـ هـ$_{٢}$)^{٢} + (هـ$_{٢}$ ء)^{٢}

∴ هـ ء = $\sqrt{(\text{هـ هـ}_{٢})^{٢} + (\text{هـ}_{٢}\ \text{ء})^{٢}}$ .... (٣٤)

IV ــ تعيين ارتفاع هدف من ثلاث زوايا إرتفاع فقط

المعلوم ا ، ب ، حـ ثلاث نقط على خط قاعدة واحد ومنسوب واحد شكل (٤٩) قيست المسافتان س ، ص ورصدت الزوايا α ، β ، θ زوايا إرتفاع هدف من النقط الثلاث ا ، ب ، حـ .

بحل المثلثين ا ى ب ، ا ى حـ بقاعدة الجيوب .



$$\text{جتا}\ \phi = \frac{\text{ع}^{2}\ \text{ظتا}^{2}\ \alpha + \text{س}^{2} - \text{ع}^{2}\ \text{ظتا}^{2}\ \beta}{2\ \text{ع س ظتا}\ \alpha}$$

$$= \frac{\text{ع}^{2}\ \text{ظتا}^{2}\ \alpha + (\text{س} + \text{ص})^{2}\ \ \text{ع}^{2}\ \text{ظتا}^{2}\ \theta}{2\ \text{ع}\ (\text{س} + \text{ص})\ \text{ظتا}\ \alpha}$$

.... (٣٥)

$$\therefore \; (\text{س} + \text{ص}) \left[\text{ع}^2 (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \beta) + \text{س}^2 \right]$$

$$= \text{س} \left[\text{ع}^2 (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \theta) + (\text{س} + \text{ص})^2 \right]$$

أى :

$$\text{ع}^2 \left[(\text{س} + \text{ص})(\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \beta) - \text{س} (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \theta) \right]$$

$$= \text{س} (\text{س} + \text{ص})^2 - \text{س}^2 (\text{س} + \text{ص})$$

$$\text{ع}^2 = \frac{(\text{س} + \text{ص}) \left[\text{س} (\text{س} + \text{ص}) - \text{س}^2 \right]}{(\text{س} + \text{ص})(\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \beta) - \text{س} (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \theta)}$$

$$\text{ع}^2 = \frac{(\text{س} + \text{ص}) \, \text{س ص}}{(\text{س} + \text{ص})(\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \beta) - \text{س} (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \theta)}$$

$$\text{ع} = \left[\frac{\text{س ص} (\text{س} + \text{ص})}{\text{س} (\text{ظتا}^2 \theta - \text{ظتا}^2 \beta) + \text{ص} (\text{ظتا}^2 \alpha - \text{ظتا}^2 \beta)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

.... (٣٦)

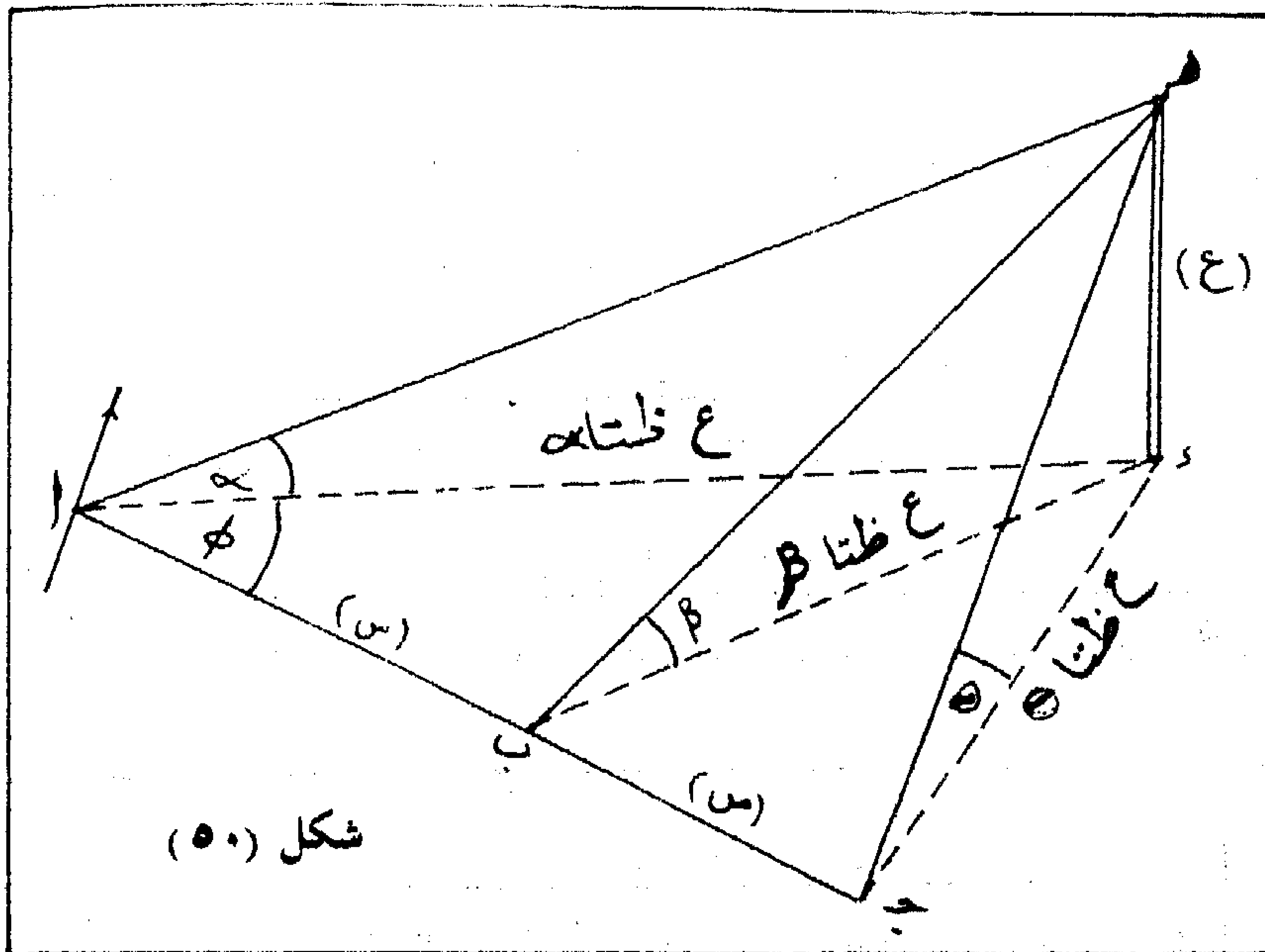
وإذا كانت س = ص

$$\text{ع} = \frac{\sqrt{2}\, \text{س}}{\left[\text{ظتا}^2 \theta - 2\, \text{ظتا}^2 \beta + \text{ظتا}^2 \alpha \right]^{\frac{1}{2}}} \quad .... (٣٧)$$

مثـال :

ا ، ب ، حـ ثلاث نقط على خط مستقيم أفقى واحد وإنحرافه ٣٤″ ٠٣′ ٥١٢٦ شكل (٥٠) ، البعد ا ب = ٥٢٣,٥٤ قدم ، ب حـ = ٤٢٠,٩٧ قدم .

وضع جهاز على الثلاث نقط وبإرتفاع واحد قدره ٣ بوصة ٤ قدم ورصدت زوايا الإرتفاع إلى قمة برج ء فكانت كما يلى :



شكل (٥٠)

عند ا ٠٠″ ١٤′ ٥٧°
ب ٢٠″ ١٥′ ١٠°
حـ ٣٠″ ١٢′ ١٣°

أحسب : ا ــ إرتفاع قمة البرج هـ فوق منسوب الخط ا ب حـ .
ب ــ إنحراف الخط ا ء .
حـ ــ المسافة الأفقية ا ء .

فى الشكل :

ا ء = ع ظتا α
ب ء = ع ظتا β
حـ ء = ع ظتا θ

بحل المثلثين ا ء$_1$ ب ، ا ء$_1$ حـ وباستعمال المعادلة (٣٦)

ع = [(٤٢٠,٩٧ × ٥٢٣,٥٤) / ٥٢٣,٥٤ (ظتا² ٣٠″ ١٢′ ١٣° − ظتا² ٢٠″ ١٥′ ١٠°)

+ ٤٢٠,٩٧ (ظتا² ٠٠″ ١٤′ ٧° − ظتا² ٢٠″ ١٥′ ١٠°) × (٤٢٠,٩٧ + ٥٢٣,٥٤)]$^{\frac{1}{2}}$

= ١٧٥,١٦ متراً

ا ـ إرتفاع هـ فوق منسوب ا ، ب ، حـ الأرضية

= ١٧٥,١٦ + ٤,٢٥ = ١٧٩,٤١ قدم

بإستعمال المعادلة :

جا ϕ = [ع² (ظتا² α ـ ظتا² β) + س²] / ٢ ع س ظتا α

جتا ϕ = [١٧٥,١٦² (ظا² ٠٠″ ١٤′ ٧° − ظتا² ٣٠″ ١٥′ ١٠°) + ٥٢٣,٥٤²] / ٢ × ١٧٥,١٦ × ٥٢٣,٥٤ × ظتا ٠٠″ ١٤′ ٧°

= ٠,٨٥٩٠٩

∴ ϕ = ١٠″ ٤٧′ ٣٠°

ب ـ ∴ انحراف ا ء = ٣٤″ ٠٣′ ١٢٦° ـ ١٠″ ٤٧′ ٣٠°

= ٢٤″ ١٦′ ٩٥°

حـ ـ طول الخط ا ء$_1$ = ع ظتا α

= ١٧٥,١٦ ظتا ١٤′ ٧°

= ١٣٨٠,٠٧ قدم

ثانياً ـــ تعيين المسافات

١ ـــ مسألة خط القاعدة المتكسر (The Broken Base Problem)

ويوضح هذه المسألة خط القاعدة ا ؛ شكل (٥١) الذى لا يمكن قياسه لوجود عقبة . ويمكن اتباع الأسلوب التالى فى حل هذه المسألة فى الخطوات التالية .

١ ـــ يقاس الطولين س ، ل .
٢ ـــ تقاس الزوايا α ، β ، θ عند النقطة هـ .
٣ ـــ لحساب ب حـ = ص يمكن اتباع عدة طرق .

الطريقة الأولى :

فى المثلث ا هـ ب $$\text{هـ ب} = \frac{\text{س جا هـ ا ب}}{\text{جا } \alpha}$$

، فى المثلث ا هـ حـ $$\text{هـ حـ} = \frac{(\text{س} + \text{ص}) \text{ جا هـ ا حـ}}{\text{جا } (\alpha + \beta)}$$

وبذا :

$$\frac{\text{هـ ب}}{\text{هـ حـ}} = \frac{\text{س جا } (\alpha + \beta)}{(\text{س} + \text{ص}) \text{ جا } \alpha} \qquad \ldots\ldots\ (١)$$

وكذلك فى المثلث هـ ء ب $$\text{هـ ب} = \frac{(\text{ص} + \text{ل}) \text{ جا هـ ء ب}}{\text{جا } (\theta + \beta)}$$

، فى المثلث هـ ء حـ $$\text{هـ حـ} = \frac{\text{ل جا هـ ء حـ}}{\text{جا } \theta}$$

$$\therefore \frac{\text{هـ ب}}{\text{هـ حـ}} = \frac{(\text{ص} + \text{ل}) \text{ جا } \theta}{\text{ل جا } (\theta + \beta)} \qquad \ldots\ldots\ (٢)$$

من المعادلتين (١) ، (٢) :

$$\frac{(ص + ل)\ جا\ \theta}{ل\ جا\ (\theta + \beta)} = \frac{س\ جا\ (\alpha + \beta)}{(س + ص)\ جا\ \alpha}$$

أى أن $(س + ص)\ (ص + ل) = \frac{س\ ل\ جا\ (\alpha + \beta)\ جا\ (\theta + \beta)}{جا\ \alpha\ جا\ \theta}$

حينئذ $ص^{٢} + ص\ (س + ل) +$

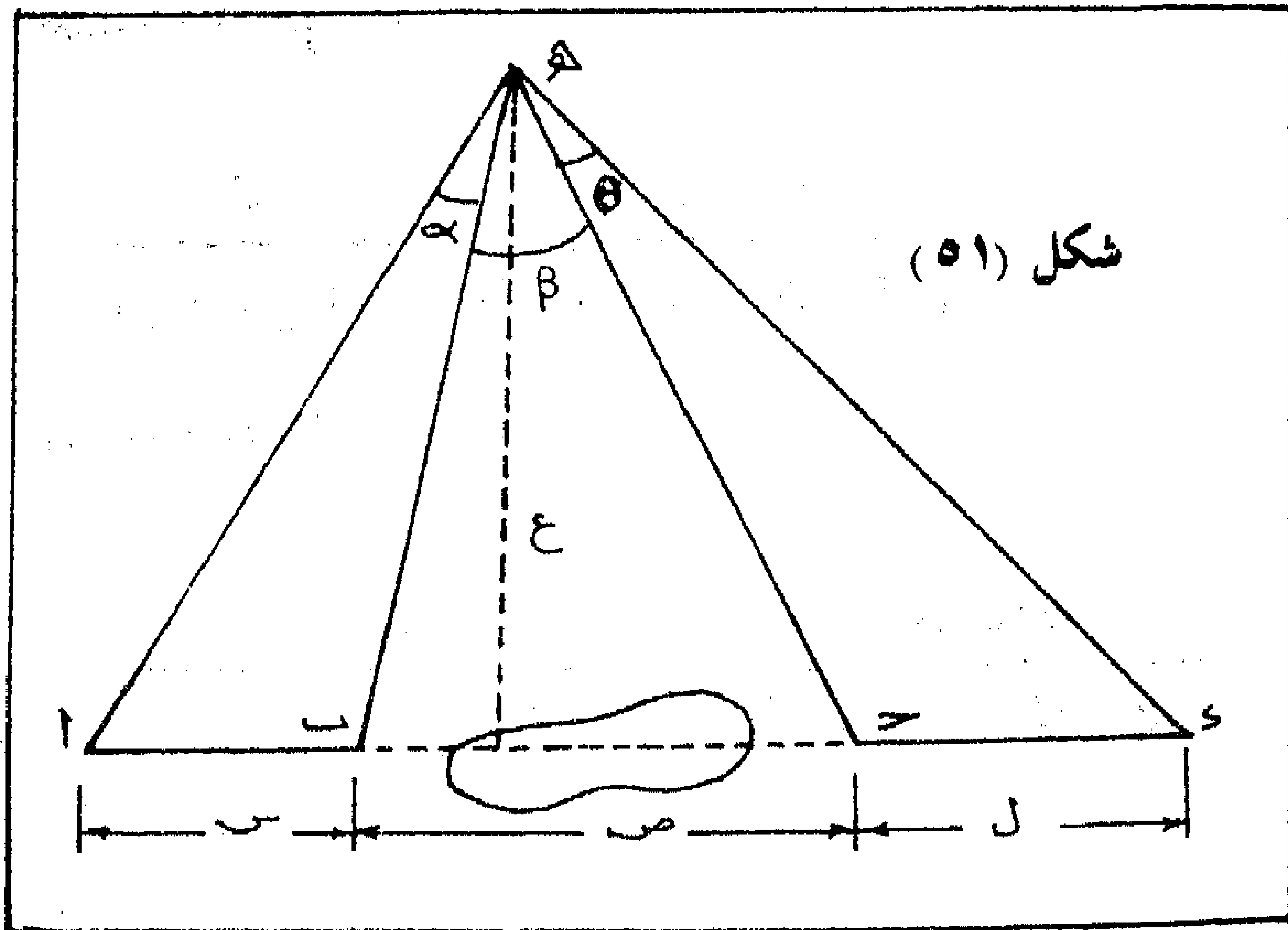
$$س\ ل\ [\ ١ - \frac{جا\ (\alpha + \beta)\ جا\ (\theta + \beta)}{جا\ \alpha\ جا\ \theta}\ ] \quad ...... (٣)$$

هذه معادلة من الدرجة الثانية فى ص .

$$ص = - \frac{س + ل}{٢} + \sqrt{\left(\frac{س + ل}{٢}\right)^{٢} - س\ ل\ [\ ١ - \frac{جا\ (\alpha + \beta)\ جا\ (\theta + \beta)}{جا\ \alpha\ جا\ \theta}\ ]}$$

$$= - \frac{س + ل}{٢} + \sqrt{\left(\frac{س - ل}{٢}\right)^{٢} + س\ ل\ \frac{جا\ (\alpha + \beta)\ جا\ (\theta + \beta)}{جا\ \alpha\ جا\ \theta}}$$

...... (٣٨)



شكل (٥١)

الطريقة الثانية :

مساحة المثلث ا ب هـ $= \frac{1}{2}$ س ع $= \frac{1}{2}$ ا هـ . هـ ب جا α .... (١)

مساحة المثلث ب حـ هـ $= \frac{1}{2}$ ص ع $= \frac{1}{2}$ ب هـ . هـ حـ جا β .... (٢)

مساحة المثلث حـ ء هـ $= \frac{1}{2}$ ل ع $= \frac{1}{2}$ حـ هـ . هـ ء جا θ .... (٣)

مساحة المثلث ا ء هـ $= \frac{1}{2}$ (س + ص + ل) ع

$= \frac{1}{2}$ ا هـ . هـ ء جا $(\alpha + \beta + \theta)$ .... (٤)

بقسمة (١) على (٢)

$$\frac{\text{س}}{\text{ص}} = \frac{\text{ا هـ جا}\ \alpha}{\text{هـ حـ جا}\ \beta} \quad \text{......} (٥)$$

بقسمة (٣) على (٤)

$$\frac{\text{ل}}{\text{س + ص + ل}} = \frac{\text{حـ هـ جا}\ \theta}{\text{ا هـ جا}\ (\alpha + \beta + \theta)} \quad \text{......} (٦)$$

بقسمة (٥) على (٦)

$$\frac{\text{س ل}}{\text{ص (س + ص + ل)}} = \frac{\text{جا}\ \alpha\ \text{جا}\ \theta}{\text{جا}\ \beta\ \text{جا}\ (\alpha + \beta + \theta)}$$

أى أن $ص^{٢} + ص\,(س + ل) - س\,ل \dfrac{جا\,\beta\ جا\,(\alpha + \beta + \theta)}{جا\,\alpha\ جا\,\theta} = صفر$

$$ص = -\left(\frac{س + ل}{٢}\right) + \sqrt{\left(\frac{س + ل}{٢}\right)^{٢} + س\,ل \frac{جا\,\beta\ جا\,(\alpha + \beta + \theta)}{جا\,\alpha\ جا\,\theta}}$$

.... (٣٩)

الطريقة الثالثة (طريقة ماكاو)

لتجهيز حل لوغاريتمى تستعمل زاوية مساعدة

من المعادلة السابقة من الدرجة الثانية

$$ص^{٢} + ص\,(س + ل) - س\,ل \frac{جا\,\beta\ جا\,(\alpha + \beta + \theta)}{جا\,\alpha\ جا\,\theta} = صفر$$

...... (٤٠)

أى :

$$\left\{ص + \frac{١}{٢}(س + ل)\right\}^{٢} = \frac{١}{٤}(س + ل)^{٢} + س\,ل \frac{جا\,\beta\ جا\,(\alpha + \beta + \theta)}{جا\,\alpha\ جا\,\theta}$$

.... (٤١)

والآن نجعل :

$$\text{ظا}^2 \text{ ن} = \frac{4 \text{ س ل جا } \beta \text{ جا } (\alpha + \beta + \theta)}{(\text{س} + \text{ل})^2 \text{ جا } \alpha \text{ جا } \theta} \quad \ldots\ldots (42)$$

وبتعويض هذا فى المعادلة (٤١) نحصل على :

$$\left\{ \text{ص} + \frac{1}{2} (\text{س} + \text{ل}) \right\}^2 = \frac{1}{4} (\text{س} + \text{ل})^2 (1 + \text{ظا}^2 \text{ ن})$$

$$= \frac{1}{4} (\text{س} + \text{ل})^2 \text{ قا}^2 \text{ ن}$$

$$\therefore \text{ص} + \frac{1}{2} (\text{س} + \text{ل}) = \frac{1}{2} (\text{س} + \text{ل}) \text{ قا ن}$$

$$\text{ص} = \frac{1}{2} (\text{س} + \text{ل}) (\text{قا ن} - 1)$$

$$= (\text{س} + \text{ل}) \text{ قا ن} \cdot \frac{1}{2} (1 - \text{جتا ن})$$

$$\text{ص} = (\text{س} + \text{ل}) \text{ قا ن جا}^2 \frac{1}{2} \text{ ن} \quad \ldots\ldots (43)$$

مثال : عند قياس خط قاعدة ا ء أعترض القياس عقبة . وللتغلب على هذه الصعوبة أختيرت نقطتان ب ، حـ على ا ء ثم أخذت أرصاد إليها من نقطة هـ كما يلى :

الزاوية ا هـ ب = ٢٠ ° ١٨ ′ ٢٠ ″

الزاوية ب هـ حـ = ٤٠″ ١٩′ ٤٥°

الزاوية حـ هـ ء = ٢٠″ ٢٤′ ٣٣°

طول ا ب = ٥٢٧,٤٣ متر ، حـ ء = ٦٨٥,٢٩ متر أحسب طول الخط ا ء .

الحـــل :

α = ٢٠″ ١٨′ ٢٠° ، β = ٤٠″ ١٩′ ٤٥° ، θ = ٢٠″ ٢٤′ ٣٣°

$\alpha + \beta$ = ٠٠″ ٣٨′ ٦٥°

$\alpha + \beta + \theta$ = ٠٠″ ٠٢′ ٩٩°

$\beta + \theta$ = ٠٠″ ٤٤′ ٧٨°

س = ٥٢٧,٤٣ ، ل = ٦٨٥,٢٩

$\frac{1}{2}$ (س + ل) = ٦٠٦,٣٦

$\frac{1}{2}$ (س — س) = ٧٨,٩٣

بالطريقة الأولى :

ص = - ٦٠٦,٣٦ +

√ [(٧٨,٩٣)^2 + (٥٢٧,٤٣ × ٦٨٥,٢٩ جا ٣٨′ ٦٥° جا ٤٤′ ٧٨°) / (جا ٢٠″ ١٨′ ٢٠° جا ٢٠″ ٢٤′ ٣٣°)]

= - ٦٠٦,٣٦ + √ (٦٢٣٠ + ١٧٩٠٠٥٧)

= - ٦٠٦,٣٦ + ١٣٠٢,٤١٥

= ٦٩٦,٠٥٥ متر

وبذا فإن ا ء = ١٢١٢,٧٢ + ٦٩٦,٠٥٥ = ١٩٠٨,٧٧٥ متر

بالطريقة الثانية :

ص = − ٦٠٦,٣٦ + √(٦٠٦,٣٦)٢ + ٥٢٧,٤٣ × ٦٨٥,٢٩ جا ٤٠ً ١٩َ ٤٥° جا ٢٠ً ٠٢َ ٩٩° / جا ٢٠ً ١٨َ ٢٠° جا ٢٠ً ٢٤َ ٣٣°

= − ٦٠٦,٣٦ + √ ٣٦٧٦٧٢ + ١٣٢٨٦١٤

= − ٦٠٦,٣٦ + ١٣٠٢,٤١٥

= ٦٩٦,٠٥٥ متر

بالطريقة الثالثة :

باللوغاريتمات

٤	٠,٦٠٢٠٦٠٠
س	٢,٧٢٢١٦٤٨
ل	٢,٨٣٥٨٧٤٤
جا β	٩,٨٥١٩٥٥٤
جا ($\alpha + \beta + \theta$)	٩,٩٩٤٥٧٣١
قتا α	١٠,٤٥٩٦٣٧٢
قتا θ	١٠,٢٥٩١٩٤٠
	٦,٧٢٥٤٥٨٩
(س + ل)٢	٦,١٦٧٥٢١٠
ظا٢ ن	٠,٥٥٧٩٣٧٩
ظا ن	٠,٢٧٨٩٦٨٩

ن = ١١ً ١٥َ ٦٢°

½ ن = ٣٦ً ٠٧َ ٣١°

قا ن	٠,٣٣٢٠١٧٥
جا $\frac{1}{2}$ ن	٩,٧١٣٤٣٣٢
جا $\frac{1}{2}$ ن	٩,٧١٣٤٣٣٢
س +	٣,٠٨٣٧٦٠٥
	٢,٨٤٢٦٤٤٤
ص =	٦٩٦,٠٥٥

مســـائل

١ ــ يراد حساب ارتفاع عامود كهرباء (حـ) بالنسبة لمحطتين ا ، ب (على منسوب واحد) من الأرصاد التالية . أوجد الارتفاع من المحطتين إذا كان ارتفاع الجهاز عند كل من المحطتين ٥ أقدام . ا ب = ٢٠٠ قدم .

الزاوية الأفقية عند ا = ١٠′ ٧٥° = ب ا حـ

عند ب = ٢٠′ ٤٠° = ا ب حـ

الزاوية الرأسية عند ا = ١٢′ ٤٣°

عند ب = ١٣′ ٣٢°

(الجواب : الارتفاع المتوسط ١٣٩,٨ قدم)

٢ ــ من قمة برج ارتفاعه ١٢٠ متر قيست زاوية الانخفاض للنقطة ا فكانت ١٥° ، لنقطة أخرى ب فكانت ١١° . انحرافا ا ، ب من البرج هى ٢٠٥° ، ١٣٧° على الترتيب . فإذا كانت ا ، ب تقعا فى مستو أفقى يمر بقاعدة البرج . أحسب المسافة ا ب .

(الجواب : ٦١٢ متر)

٣ ــ ا ، ب ، حـ ، ى أربع علامات متتابعة على طريق أفقى مستقيم.من نقطة هـ ناحية الغرب من ا كان اتجاه ب = ٨٤° ، اتجاه ى = ٧٧° ولم يمكن رؤية حـ من هـ نظراً لوجود أشجار . فإذا كان اتجاه الطريق من ا إلى ى هو θ . أحسب θ ، وبعد هـ من الطريق .

(الجواب θ = ٥٠″ ٠٦′ ٦٠° ، هـ ا = ٣,٨٧٣٨ ميل)

٤ ــ عند نقطة ا رصد شخص زاوية ارتفاع قمة برج فكانت ١٥′ ٤٢° . مسار الراصد ٢٠٠ ياردة صاعدا على طريق منتظم الميل قدره

٥١٢ فى اتجاه البرج مباشرة فوجد أن زاوية ارتفاع ب قد زادت إلى ٠٩َ ٢٣°٥
أحسب ارتفاع ب فوق منسوب ا .

(الجواب ٨٢٣,٨٢ قدم)

٥ ـــ من نقطتين تبعدان عن بعض بمقدار ٥٠٠ ياردة على مستوى أفقى . أخذت أرصاد زاوية انحراف وزاوية ارتفاع طائرة فى آن واحد . فكانت عند إحدى النقط زاوية الانحراف ٤١°٥ وزاوية الارتفاع ٢٤°٥ ، وعند نقطة أخرى الأنحراف ٣٢°٥ وزاوية الانحراف ١٦°٥ . احسب ارتفاع الطائرة فوق المستوى

(الجواب ١١٣٩ قدم)

٦ ـــ ثلاث نقط س ، ص ، ل تقع على خط مستقيم فى نفس المستوى . أخذت مجموعة زوايا ارتفاع لقمة مدخنة تقع على أحد جوانب الخط س ص ل وذلك من س ، ص ، ل فكانت عند س = ٠٢َ ١٤°٥ وعند ص ٣٤َ ٢٦°٥ ، عند ل = ٢٦َ ١٨°٥ وطول س ص = ٤٠٠ قدم ، ص ل = ٢٤٠ قدم . احسب ارتفاع المدخنة فوق س .

(الجواب ١١٢,٠ قدم)

٧ ـــ خط مستقيم ا ب حـ ى لم يمكن قياس الجزء ب حـ مباشرة . فإذا كان ا ب = ٥٧٥,٦٤ متر ، حـ ى = ٧٢٨,٥٦ متر والزوايا التى قيست من محطة هـ على أحد جوانب ا ب حـ ى فكانت ى هـ حـ = ٣٠ً ٤٠َ ٥٦°٥ ، حـ هـ ب = ٠٠ً ٣٢َ ٤٠°٥ ، ب هـ ا = ٣٠ً ٥٦َ ٣٥°٥ أحسب طول ب حـ .

(الجواب ٢٥٩,٣٢ متر)

٨ ـــ من نقطة ا عند سفح تل رصدت زاوية ارتفاع قمة برج فوق التل فكانت ١٨َ ٥١°٥ . ومن نقطة ب على جانب التل وفى نفس المستوى الرأسى مع ا والبرج كانت زاوية ارتفاع قمة البرج ٤٠َ ٧١°٥ . ا ب يضع زاوية

قدرها ٢٠° مع الأفقى ، ا ب = ٥٢ متر . احسب ارتفاع قمة البرج عن ا .

(الجواب ٩١,٥ متر)

٩ ـــ نقطتان ا ، ب على طريق أفقى مستقيم وعلى بعد ٤٠٠ قدم من بعض . يوجد صارى علم رأسى ارتفاعه ١٠٠ قدم وعلى بعدين متساويين من ا ، ب . الزاوية المحصورة بالخط ا ب عند حـ قاعدة الصارى (وهى فى نفس المستوى الأفقى للطريق) تساوى ٨٠° . أوجد :

ا ـــ المسافة من الطريق إلى قاعدة الصارى .

ب ـــ الزاوية المحصورة بواسطة ا ب عند قمة الصارى .

(الجواب ا ـــ ٢٥٨,٥ قدم ، ب ـــ ٧٥° ٢٨َ)

١٠ ـــ يراد ايجاد البعد بين نقطتين ا ، ب لا يمكن الوصول إليهما من أرصاد من نقطتين حـ ، ى البعد بينهما ١٠٠٠ متر . الزاوية ا حـ ب = ٤٧° ، ب حـ ى = ٥٨° ، ب ى ا = ٤٩° ، ا ى حـ = ٥٩° . احسب المسافة ا ب .

(الجواب ٢٩٠٧,٤ متر)

١١ ـــ رصدت زاوية ارتفاع قمة جبل من ا طرف خط قاعدة ا ب طوله ٢٩٩٢,٥ متر فكانت ١٩° ٤٢َ والزاويتان الأفقيتان عند ا ، ب كانت ١٢٧° ٥٤َ ، ٣٣° ٩٠َ على الترتيب . أوجد ارتفاع الجبل .

(الجواب ١٨٠٤ متر)

القسم الثانى
ترافرسات التيودوليت

تقديم

عند إجراء عمليات الرفع الدقيق للمناطق نلجأ إلى ترافرس التيودوليت وحسب طبيعة المنطقة يكون شكل الترافرس المستخدم ، فإذا ما كانت المنطقة محدودة فيكفى تشكيل ترافرس على شكل حلقة واحدة مقفلة وهو ما سبق وأن تناولناه بالتفصيل فى المؤلف الأول من هذه الموسوعة من حيث اختيار نقطة وقياس عناصره من أطوال للأضلاع والزوايا الداخلية بين الأضلاع إلى تصحيح أرصاده والحصول على إحداثيات نقطه المصححة .

أما إذا كانت المنطقة المطلوب رفعها يوجد على حدودها أو داخلها نقط ترافرسات قديمة (أربعة على الأقل كما سنوضح) فإنه يتم تشكيل ترافرسات من النوع الموصل فى المنطقة لرفعها .

وإذا كانت المنطقة ممتدة طولياً وليست بذات أهمية ــ كتحديد خط الشاطىء مثلاً ــ فإنه يكتفى بتشكيل ترافرس من النوع المفتوح ملاصق لمنطقة الرفع .

وإذا كانت المنطقة المراد رفعها من الاتساع بحيث لا يكفى لتغطيتها مضلع واحد مقفل ، فإننا نلجأ إلى تكوين شبكة من الترافرسات مكونة من مجموعة من الحلقات المقفلة .

وإذا تواجدت فى المنطقة المتسعة نقط ترافرسات قديمة فإن شبكة الترافرسات التى تشكل لرفعها من الممكن أن تتكون من مجموعة من الحلقات الموصلة ، أو من حلقات مقفلة وموصلة .

وفى الأبواب التالية سوف نقدم كل ما يختص بالترافرسات الموصلة والمفتوحة وشبكات الترافرسات وترافرسات المشروعات وترافرسات المدن والأرياف .

الباب الخامس
الأرصاد الناقصة
فى الترافرسات

أسس رياضية فى حساب
الترافرسات

أولاً ــ ايجاد احداثيات نقطة مثل (ب) إذا علمت احداثيات نقطة مثل (ا) وطول وانحراف الخط الواصل بينهما :

فى شكل (٥٢) :

نفرض أن :

$\triangle$ س = الفرق الجبرى بين الأحداثيات السينية للنقطتين .

$\triangle$ ص = الفرق الجبرى بين الأحداثيات الصادية للنقطتين .

ل = طول الخط ا ب = $\sqrt{(\triangle \text{س})^2 + (\triangle \text{ص})^2}$

هـ = انحراف الخط ا ب

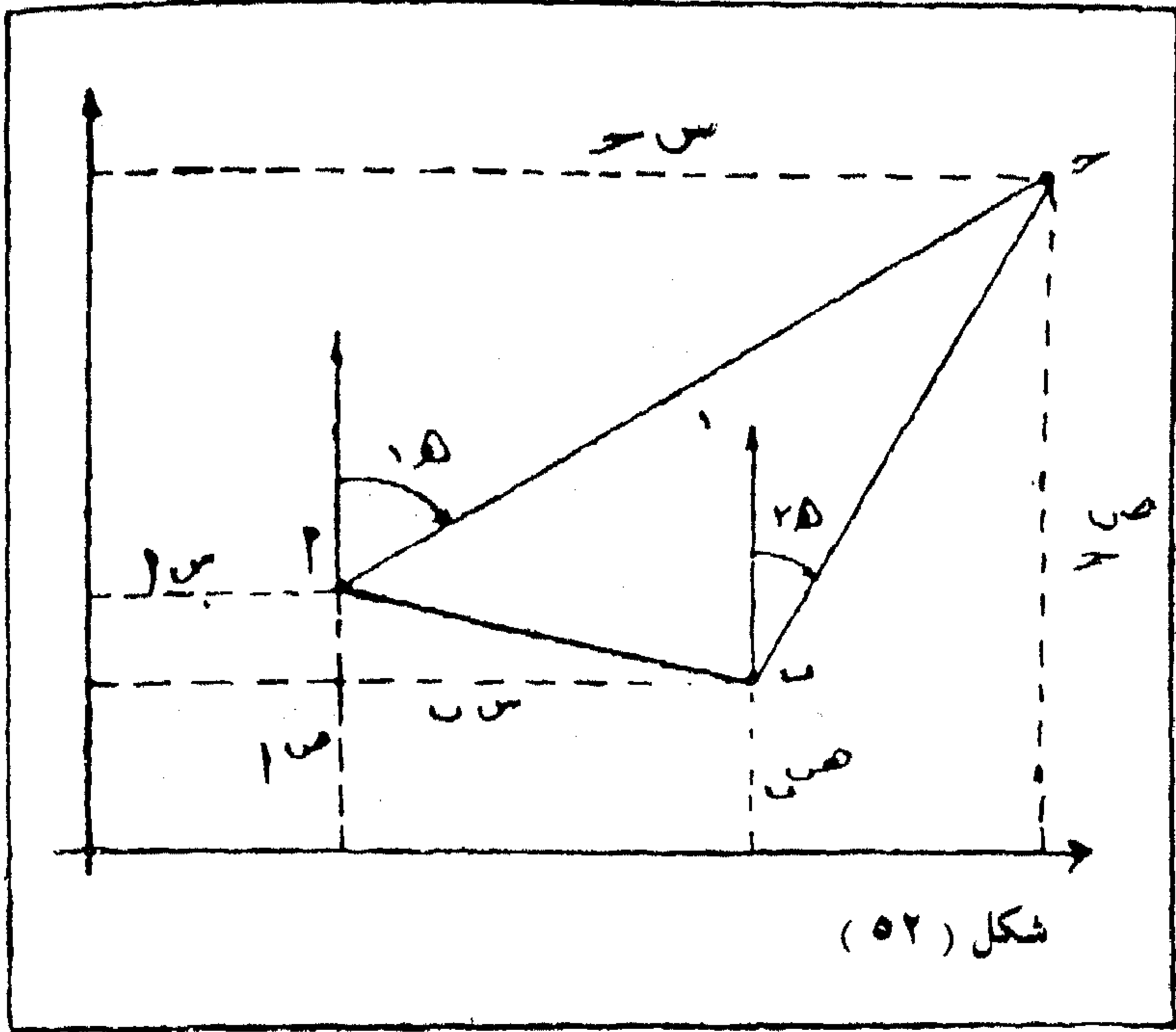
$\triangle$ ص = $\text{ص}_{\text{ب}}$ ــ $\text{ص}_{\text{ا}}$ = ل جتا هـ

$\triangle$ س = $\text{س}_{\text{ب}}$ ــ $\text{س}_{\text{ا}}$ = ل جا هـ

$\text{ص}_{\text{ب}}$ = $\text{ص}_{\text{ا}}$ + ل جتا هـ

$\text{س}_{\text{ب}}$ = $\text{س}_{\text{ا}}$ + ل جا هـ

ويجب مراعاة الإشارات .



شكل (٥٢)

مثال : أوجد إحداثيات النقطة (٢) إذا كانت إحداثيات النقطة (١) هى :

ص ١ = ٧٣٣,٤٤ ، س ١ = ٤٩٩,٦٥ وإنحراف (١) — (٢) = ١٥″ ٣٢′ ٥١٤٠ .

وطول ١ — ٢ = ٥١٦,٩٠ متر

الحـــــل :

المركبة الأفقية للخط = ل جا هـ = + ٣٢٨,٥٢٨ متر

المركبة الرأسية للخط = ل جتا هـ = − ٣٩٩,٠٦٨ متر

∴ س٢ = س١ + المركبة الأفقية (١ — ٢)

= ٤٩٩,٦٥ + ٣٢٨,٥٢٨ = ٨٢٨,١٧٨ متر

$ص_٢ = ص_١ + المركبة الرأسية_{(١ - ٢)}$

= ٧٣٣,٤٤ — ٣٩٩,٠٦٨ = ٣٣٤,٣٧٢ متر

ثانياً ــ المعلوم احداثيات نقطتين والمطلوب :

١ ــ انحراف الخط الواصل بينهما .

٢ ــ مركبات الضلع الواصل بينهما .

٣ ــ طول الضلع الواصل بينهما .

نفرض أن (ا) ، (ب) هما النقطتان المعلوم أحداثياتهما .

$$ظا انحراف ا ب = \frac{س_ب - س_ا}{ص_ب - ص_ا} = \frac{ل جا هـ}{ل جتا هـ} \quad .... (٤٤)$$

$$ل = \sqrt{(ص_ب - ص_ا)^٢ + (س_ب - س_ا)^٢} \quad .... (٤٥)$$

$$ل = \frac{س_ب - س_ا}{جا انحراف ا ب} = \frac{\triangle س}{جا هـ} \quad .... (٤٦)$$

$$ل = \frac{ص_ب - ص_ا}{جتا انحراف ا ب} = \frac{\triangle ص}{جتا هـ} \quad .... (٤٧)$$

١ ــ تفضل المعادلة (٤٥) إذا كنا سنستعمل الآلة الحاسبة .

٢ ــ تفضل المعادلتان (٤٦) ، (٤٧) إذا كنا سنستعمل اللوغاريتمات .

٣ ــ إذا كانت $س_ب$ ــ $س_ا$ أكبر من $ص_ب$ ــ $ص_ا$ نستعمل المعادلة (٤٦) .

٤ ــ وإذا كانت $ص_ب$ ــ $ص_ا$ أكبر نستعمل المعادلة (٤٧) .

والربع يتعين بإشارة كل من البسط والمقام .

مثال : ما انحراف الخط ا ب إذا كانت إحداثيات :

ا : الأفقى − ١٠٠ والرأسى + ٦٢,٦

ب : + ٨٧,٤ + ٤٢,٤

$$ظا\ انحراف\ ا\ ب = \frac{٨٧,٤ - (- ١٠٠)}{٤٢,٤ - ٦٢,٦} = \frac{+ ١٨٧,٤}{- ٢٠,٢}$$

$$= ٩,٢٧٧٢٢٧$$

الأنحراف المختصر : ح ٥٢″ ٥٠′ ٨٣° و (الربع يحدد بأشارات البسط والمقام)

الأنحراف الدائرى : ٠٨″ ٠٩′ ٩٦°

$$طول\ ا\ ب = \sqrt{(٨٧,٤ + ١٠٠)^٢ + (٤٢,٤ - ٦٢,٦)^٢}$$

$$= ١٨٨,٤٨٥٥\ متراً$$

$$أو\ طول\ ا\ ب = \frac{س_ب - س_ا}{جا\ هـ} = \frac{١٨٧,٤}{جا\ ٥٢″\ ٥٠′\ ٨٣°} = ١٨٨,٤٨٥٥\ م$$

$$= \frac{ص_ب - ص_ا}{جتا\ هـ} = \frac{٢٠,٢}{جتا\ ٥٢″\ ٥٠′\ ٨٣°} = ١٨٨,٤٨٥٠$$

وواضح من هنا الخطأ الناتج من استعمال المعادلة الأخيرة .

ثالثاً ــ تعيين أحداثيات نقطة (حـ) مرصودة من نقطتين ا ، ب معلوم أحداثيات كل منهما والأنحرافين منها (هـ_{1} ، هـ_{2}) إلى النقطة حـ شكل (٥٢) .

إذا كانت إحداثيات نقطة حـ هى $\text{س}_{\text{حـ}}$ ، $\text{ص}_{\text{حـ}}$

فإن $\text{س}_{\text{حـ}}$ (محسوبة من ا)

$$\text{س}_{\text{حـ}} = \text{س}_{1} + (\text{ص}_{\text{حـ}} - \text{ص}_{1}) \text{ ظا هـ}_{1}$$

، $\text{س}_{\text{حـ}}$ (محسوبة من ب)

$$\text{س}_{\text{حـ}} = \text{س}_{\text{ب}} + (\text{ص}_{\text{حـ}} - \text{ص}_{\text{ب}}) \text{ ظا هـ}_{1}$$

ومنهما :

$$\text{ص}_{\text{حـ}} = \frac{(\text{س}_{\text{ب}} - \text{س}_{1}) + (\text{ص}_{1} \text{ ظا هـ}_{1} - \text{ص}_{\text{ب}} \text{ ظا هـ}_{2})}{\text{ظا هـ}_{1} - \text{ظا هـ}_{2}} \quad \ldots\ldots (٤٨)$$

وبحساب $\text{ص}_{\text{حـ}}$ يمكن الحصول على $\text{س}_{\text{حـ}}$ من إحدى المعادلتين :

$$\text{س}_{\text{حـ}} = \text{س}_{\text{ب}} + (\text{ص}_{\text{حـ}} - \text{ص}_{\text{ب}}) \text{ ظا هـ}_{2} \quad \ldots\ldots (٤٩)$$

$$= \text{س}_{1} + (\text{ص}_{\text{حـ}} - \text{ص}_{1}) \text{ ظا هـ}_{1} \quad \ldots\ldots (٥٠)$$

الأرصاد الناقصة

(Omitted Measurements)

فى أى مضلع مقفل ، إذا علمت الأطوال للأضلاع ل $_{١}$ ، ل $_{٢}$ ، ل $_{٣}$ ، .... والانحرافات هـ $_{١}$ ، هـ $_{٢}$ ، هـ $_{٣}$ ، ... فإن هناك شرطين يجب أن يتحققا .

ل $_{١}$ جتا هـ $_{١}$ + ل $_{٢}$ جتا هـ $_{٢}$ + ل $_{٣}$ جتا هـ $_{٣}$ + ... = مجموع المركبات الرأسية = صفر ل $_{١}$ جا هـ $_{١}$ + ل $_{٢}$ جا هـ $_{٢}$ + ل $_{٣}$ جا هـ $_{٣}$ + ... = مجموع المركبات الأفقية = صفر

.... (٥١)

ومن هاتين المعادلتين يمكن تعيين أى مجهولين فى المعادلات ، سواء أكانت طول أو انحراف . وكثيراً ما يحدث فى الناحية العملية أو يتعذر قياس طول خط أو انحراف خط آخر ... ويمكن من هاتين المعادلتين أن نعين المجهول أو المجهولين ، ولكن العيب هو عدم اكتشاف إذا ما كانت هناك أرصاد خاطئة أم لا ، إذ أن الحل ليس له تحقيق لأن كل الأخطاء الممكن والمحتمل حدوثها تلقى عبئاً على المجاهيل ، لذلك لا نلجأ لها إلا للضرورة ، ولذا يراعى الدقة في رصد الكميات الممكنة كما يجب تحقيق العمل كلما تسنى ذلك .

وهناك ست حالات للمجاهيل فى حالة الأرصاد الناقصة نوردها فيما يلى :

أولاً ــ المجهول طول ضلع واحد

المجموع الجبرى للمركبات الرأسية للأضلاع المعلومة = ص

المجموع الجبرى للمركبات الأفقية للأضلاع المعلومة = س

وبذا فإن المركبة الرأسية للضلع المجهول = ــ ص

والمركبة الأفقية للضلع المجهول = ـــ س

طول الضلع المطلوب = $\sqrt{س^{2} + ص^{2}}$

ويجب أن يتحقق أن الأنحراف المرصود لهذا الضلع يكون مساوياً للأنحراف المحسوب من واقع الأرصاد الناقصة أو الفرق فى حدود المسموح به .

$$\text{الأنحراف المرصود} \cong \text{ظا}^{-1} \frac{-\text{س}}{-\text{ص}} \quad \ldots (٥٢)$$

ثانياً ـــ المجهول انحراف ضلع واحد

كما فى الحالة السابقة فيكون :

$$\text{ظا الانحراف المختصر للضلع المجهول} = \frac{-\text{س}}{-\text{ص}}$$

حيث س ، ص المجموع الجبرى للمركبات الأفقية والرأسية للأضلاع المعلومة .

ومن الإشارة الجبرية للمركبتين للضلع المجهول يمكن تعيين ربع الدائرة الذى يقع فيه الخط ثم الانحراف الدائرى ، والحالتين الأولى والثانية مجتمعة مبينة فى الحالة الثالثة .

ثالثاً ـــ المجهول طول ضلع وانحرافه

نقابل هذه الحالة كثيراً فى الناحية العملية لإيجاد طول وإنحراف خط يتعذر قياسه وقياس إنحرافه بالطريق المباشر ، فيشكل ترافرس يبتدىء من إحدى النقطتين وينتهى عند الأخرى وتقاس الزوايا عند كل النقط ماعدا هاتين النقطتين . بذلك يمكن إيجاد إنحرافات كل الخطوط ما عدا الخط الواصل بين

هاتين النقطتين ثم تقاس أطوال الخطوط فى هذا الترافرس عدا الخط الواصل بين النقطتين فالمجهول الآن طول وانحراف الخط بين النقطتين .

مثال ١ : ا ب حـ ء مضلع قيست أطوال أضلاعه ا ب ، ب حـ ، حـ ء وحسبت انحرافاتها كما فى جدول (٤) والمطلوب حساب طول وانحراف ء ا .

الحـــل :

١ ــ نحسب الانحرافات المختصرة بالطريقة العادية ثم نحسب مركبات الأضلاع ونجمعها جبرياً . مركبات ء ا طبقاً للمعادلة (٥١) تساوى مجموع مركبات كل الأضلاع بعكس الإشارة .

جدول (٤)

الخط	الطول	الأنحراف الدائرى	الأنحراف المختصر	المركبة الأفقية	المركبة الرأسية
ا ب	٤٢,٥٠	١٥٩° ٣٧,٥′	حـ ٢٢,٥ ٢٠° ق	+ ١٤,٧٩٧	− ٣٩,٨٤١
ب حـ	٣٨,١٥	٢٢١ ٥٢	حـ ٥٢ ٤١ غـ	− ٢٥,٤٦١	− ٢٨,٤١٠
حـ ء	٣٥,٠٠	٣٥٦ ٣٥	ش ٢٥ ٠٣ غـ	− ٢,٠٨٦	+ ٣٤,٩٣٧
ء ا	؟	هـ	هـ	س ء ا	ص ء ا
			المجموع	− ١٢,٧٥٠	− ٣٣,٣١٤
			مركبات ء ا	+ ١٢,٧٥٠	+ ٣٣,٣١٤

ظا الأنحراف المختصر للضلع ء ا = $\frac{+ 12.750}{+ 33.314}$ = ٠,٣٨٢٧٢٢

∴ الضلع فى الربع الأول لأن إشارة كل من س ، ص موجبة .

الانحراف المختصر = ش ٢٠° ٥٦′ ٣٤,٦″ ق

∴ الانحراف الدائرى = ٢٠° ٥٦′ ٣٤,٦″

∴ طول الخط = $\sqrt{(12.750)^2 + (33.314)^2}$ = ٣٥,٦٧ متراً

مثال ٢ ـــ أوجد من الأطوال والانحرافات المختصرة للأضلاع ا ب ، ب حـ ، حـ ء ، ء هـ ، هـ و المعلومة فى المضلع المقفل ا ب حـ ء هـ و ا طول وانحراف و ا جدول (٥) .

الحـــــل :

جدول (٥)

الخط	الطول (متر)	الإنحراف المختصر	المركبة الرأسية	المركبة الأفقية
ا ب	٣١٠	ش ٦٦° ق	+ ١٢٦,٠٩	+ ٢٨٣,٢٠
ب حـ	٤٠٧	حـ ٨٥° ق	− ٣٥,٤٧	+ ٤٠٥,٢٥
حـ ء	٢٢٤	حـ ٥٣° ق	− ١٣٤,٨٠	+ ١٧٨,٩٠
ء هـ	٣٠٢	ش ٦٩° ق	+ ١٠٨,٢٢	+ ٢٨١,٩٤
هـ و	١٦٦	ش ١٢° ق	+ ١٦٢,٣٧	+ ٣٤,٥١
		المجموع	+ ٢٢٦,٤١	+ ١١٨٣,٨٠
		الخط و ا	− ٢٢٦,٤١	− ١١٨٣,٨٠

بحساب مركبات الأضلاع المعلومة يتم الحصول على مركبات الضلع المجهول كما هو مبين بالجدول وعليه يكون :

$$\text{ظا الأنحراف للخط و ا} = \frac{-\ ١١٨٣,٨٠}{-\ ٢٢٦,٤١} = ٥,٢٢٨٦$$

والضلع يقع فى الربع الثالث نظراً لأن اشارتى البسط والمقام سالبة .

الأنحراف المختصر = حـ ٢١,١″ ١٠′ ٧٩° غ

∴ الأنحراف الدائرى = ٢١,١″ ١٠′ ٢٥٩°

$$\text{طول ا و} = \frac{١١٨٣,٨٠}{\text{جا } ٢١,١\ ١٠\ ٧٩°} = ١٢٠٥,٢٥ \text{ متراً}$$

$$= \sqrt{(١١٨٣,٨)^{٢} + (٢٢٦,٤١)^{٢}} = ١٢٠٥,٢٥ \text{ مترمربع}$$

رابعاً ــ المجهول طول ضلع وانحراف ضلع آخر

نفرض فى المثال (١) السابق أن المجهول هو طول ا ء ، وإنحراف حـ ء نرتب الجدول مع وضع المجاهيل ونجمع المركبات الأفقية والرأسية كل على حدة فتتكون معادلتان آنيتان فى المجهولين كما هو مبين فيما يلى :

جدول (٦)

الخط	الطول	الانحراف المختصر	المركبة الرأسية	المركبة الأفقية
ا ب	٤٢,٥٠	حـ ٣٠" ٢٢َ ٢٠°ق	- ٣٩,٨٤	+ ١٤,٨٠
ب حـ	٣٨,١٥	حـ ٠٠" ٥٢َ ٤١°غ	- ٢٥,٤٦	- ٢٨,٤١
حـ ء	٣٥,٠٠	هـ	٣٥ جتا هـ	٣٥ جا هـ
ء ا	ل	ش ٤٠,٨" ٣١َ ٣٧°ق	+ ٠,٧٩٣١ ل	+ ٠,٦٠٩٢ ل

المعادلتان : ــ ٦٥,٣ + ٣٥ جتاهـ + ٠,٧٩٣١ ل = صفر (١)

ــ ١٣,٦١ + ٣٥ جاهـ + ٠,٦٠٩٢ ل = صفر (٢)

نضع جاهـ ، جتاهـ فى طرف ونربع المعادلتين ونجمعهما فتضيع هـ

(٣٥ جتاهـ)^{٢} = (٦٥,٣٠ ــ ٠,٧٩٣١ ل)^{٢}

(٣٥ جاهـ)^{٢} = (+ ١٣,٦١ ــ ٠,٦٠٩٢ ل)^{٢}

ل^{٢} ــ ١٢٠,١٦ ل + ٣٢٢٤,٣٢ = صفر

$$ل = \frac{١٢٠,١٦ \pm \sqrt{(١٢٠,١٦)^{٢} - ٤ \times ٣٢٢٤,٣٢}}{٢}$$

ومن هذه المعادلة نلاحظ أن للمسألة حلان .

الحل الأول : ل = ٧٩,٧١ متر

وبالتعويض فى (١) جتاهـ = + ٠,٠٥٩٤٨٥٧

الأنحراف المختصر = ٢٢,٩″ ٣٥′ ٨٦°

ولو عوضنا فى المعادلة (٢) لكانت جا هـ بالسالب أى أن الضلع واقع فى الربع الرابع وبذلك يكون الانحراف الدائرى للضلع :

هـ = ٣٧,١″ ٢٤′ ٢٧٣°

الحل الثانى : ل = ٤٠,٤٥ متر وبالتعويض فى المعادلة الأولى

∴ جتا هـ = ٠,٩٤٩١٨٨

وبالتعويض فى المعادلة الثانية يكون جا هـ = سالب

أى أن الضلع يقع فى الربع الرابع .

∴ الأنحراف المختصر هو ش ٤١,٢″ ٢١′ ١٨° غ

وبذا يكون الأنحراف الدائرى هو ١٨,٨″ ٣٨′ ٣٤١°

خامساً ــ المجهول طولا ضلعين

بجمع المركبات الأفقية والرأسية فى هذه الحالة نحصل على معادلتين المجهول فيهما $ل_{١}$ ، $ل_{٢}$ فتحل آنياً بدون أى صعوبة ونحصل منهما على طولى الضلعين المجهولين $ل_{١}$ ، $ل_{٢}$.

مثال ــ ا ، ب نقطتان أحداثياتهما ٤ شرقاً ، ٦ شمالاً ثم ١٣ شرقاً ، و٤ شمالاً على الترتيب . رصدت نقطة حـ فكان انحرافها من ا = ٦٠° وانحرافها من ب = ٣٣٠° أوجد أحداثيات نقطة حـ .

الحـــل :

نعتبر ا ب حـ مضلع به طول كل من ا حـ ، ب حـ مجهولان وليكونا $ل_{١}$ ، $ل_{٢}$ والطول ا ب فيه معلوم .

مركبات ا ب هى :

س ا ب = س ب — س ا = ١٣ — ٤ = ٩

ص ا ب = ص ب — ص ا = ٤ — ٦ = — ٢

ولتكوين المعادلتين نستعين بالجدول التالى مع مراعاة أن انحراف حـ ا هو الخلفى لأنحراف ا حـ .

جدول (٧)

	الطول	إنحراف	مركبات أفقية	مركبات رأسية
ا ب			٩	— ٢
ب حـ	$ل_٢$	٥٣٣٠	— ٠,٥٠ $ل_٢$	+ ٠,٨٦٦٠٣ $ل_٢$
حـ ا	$ل_١$	٥٢٤٠	— ٠,٨٦٦٠٣ $ل_١$	— ٠,٥٠ $ل_١$

وبجمع المركبات الأفقية والرأسية :

∴ ٩,٠٠ — ٠,٥٠ $ل_٢$ — ٠,٨٦٦٠٣ $ل_١$ = صفر (١)

، — ٢,٠٠ + ٠,٨٦٦٠٣ $ل_٢$ — ٠,٥٠ $ل_١$ = صفر (٢)

بضرب (١) فى ٠,٨٦٦٠٣ ، (٢) فى ٠,٥٠ وبالجمع :

∴ $ل_١$ = ٦,٧٩٤

بالتعويض فى (١) بقيمة $ل_١$.

∴ $ل_٢$ = ٦,٢٣

∴ إحداثيات حـ هى :

س$_{ح}$ = س$_{ا}$ + المركبة الأفقية للضلع ا ح

= ٤,٠٠ + ل$_{١}$ جا ٦٠° = ٩,٨٨

ص$_{ح}$ = ص$_{ا}$ + المركبة الرأسية للضلع ا ح

= ٦ + ل$_{١}$ جتا ٦° = ٩,٣٩

ويمكن حساب إحداثيات ح عن طريق إحداثيات ب ويكون هذا تحقيقاً للعمل .

س$_{ح}$ = س$_{ب}$ + المركبة الأفقية للضلع ب ح

= ١٣ ــ ل$_{٢}$ جا ٣٠ = ٩,٨٨

ص$_{ح}$ = ص$_{ب}$ + المركبة الرأسية للضلع ب ح

= ٤ + ل$_{٢}$ جتا ٣٠ = ٩,٣٩

سادساً ــ المجهول انحرافا ضلعين

تؤول المعادلتان إلى :

ل$_{١}$ جتا هـ$_{١}$ + ل$_{٢}$ جتا هـ$_{١}$ = ص ....

ل$_{١}$ جا هـ$_{١}$ + ل$_{٢}$ جا هـ$_{٢}$ = س ....

حيث المجهولان هما هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ فقط ، أما س ، ص فتمثلا المجموع الجبرى لباق المركبات الأفقية والرأسية المحسوبة للأضلاع المعلومة ، ل$_{١}$ ، ل$_{٢}$ هما طولى الضلعين المجهول انحرافهما .

وبأعادة كتابة المعادلة السابقة نحصل على :

ل$_{١}$ جتا هـ$_{١}$ = ص ــ ل$_{٢}$ جتا هـ$_{٢}$

ل$_{١}$ جا هـ$_{١}$ = س ــ ل$_{٢}$ جا هـ$_{٢}$

وبالتربيع والجمع ينتج أن :

$$\text{س جاهـ}_2 + \text{ص جتاهـ}_2 = \frac{\text{س}^2 + \text{ص}^2 + \text{ل}_2^2 - \text{ل}_1^2}{2\,\text{ل}_2} \quad \ldots\ldots (1)$$

بالاستعانة بزاوية مساعدة (θ) حيث :

$$\theta = \text{ظا}^{-1} \frac{\text{س}}{\text{ص}}$$

فإن :

$$\text{جا}\,\theta = \frac{\text{س}}{\sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2}} \quad ، \quad \text{جتا}\,\theta = \frac{\text{ص}}{\sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2}}$$

وبقسمة طرفى المعادلة (١) على الوتر $\sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2}$ نحصل على :

$$\text{جا}\,\theta\ \text{جاهـ}_2 + \text{جتا}\,\theta\ \text{جتاهـ}_1 = \frac{\text{س}^2 + \text{ص}^2 + \text{ل}_2^2 - \text{ل}_1^2}{2\,\text{ل}_2 \sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2}} = \text{ك}$$

أى أن :

$$\text{جتا}\,(\text{هـ}_2 - \theta) \qquad = \text{ك} = \text{مقدار ثابت}$$

وعليه فإن :

$$\text{هـ}_2 - \theta = \text{جتا}^{-1}\ \text{ك}$$

$$\therefore \text{هـ}_2 = \text{جتا}^{-1}\ \text{ك} + \theta$$

وبالتعويض فى إحدى المعادلتين الأساسيتين نحصل على هـ_1 .

مثال : مضلع ا ب حـ ء ا فيه :

	طول	إنحراف
ا ب	٢٠٠	؟

ب حـ	٣٥٠	°١٠٢
حـ ء	١٥٠	؟
ء حـ	٤٠٠	°٢٧٠

والمطلوب : إيجاد إنحراف كل من ا ب ، حـ ء .

الحـــل :

نفرض انحراف ا ب ، حـ ء هما هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ على الترتيب . وبحساب المركبات للأضلاع المعلومة وبالجمع نحصل على :

٢٠٠ جاهـ$_{١}$ + ١٥٠ جاهـ$_{٢}$ = ٥٨ (١)

٢٠٠ جتاهـ$_{١}$ + ١٥٠ جتاهـ$_{٢}$ = ٧٦ (٢)

وتصبح هاتين المعادلتين على الصورة :

٢٠٠ جاهـ$_{١}$ = ٥٨ ــ ١٥٠ جاهـ$_{٢}$ (٣)

٢٠٠ جتاهـ$_{١}$ = ٧٦ ــ ١٥٠ جتاهـ$_{٢}$ (٤)

وبتربيع (٣) ، (٤) والجمع ينتج أن :

(٢٠٠)^{٢} = (٥٨)^{٢} + (٧٦)^{٢} + (١٥٠)^{٢} ــ ٢ × ١٥٠ × (٥٨ جاهـ$_{٢}$ + ٧٦ جتاهـ$_{٢}$)

٥٨ جاهـ$_{٢}$ + ٧٦ جتاهـ$_{٢}$ = [(٥٨)^{٢} + (٧٦)^{٢} + (١٥٠)^{٢} ــ (٢٠٠)^{٢}] ÷ [٢ × ١٥٠]

∴ جتا (هـ$_{٢}$ ــ θ) = [(٥٨)^{٢} + (٧٦)^{٢} + (١٥٠)^{٢} ــ (٢٠٠)^{٢}] ÷ [٣٠٠ $\sqrt{\text{٥٨}^{٢} + \text{٧٦}^{٢}}$] =

= ــ ٠,٢٩١٤٨٢١٢

حيث ظا θ = ٥٨ / ٧٦ ومنها θ = ٥٨″ ٢٠′ °٣٧

وحيث أن جتا ($هـ_٢ - \theta$) سالبة فإن ($هـ_٢ - \theta$) تقع إما فى الربع الثانى أو الثالث .

($هـ_٢ - \theta$) = ٤٨″ ٥٦′ ١٠٦° أو ١٢″ ٠٣′ ٢٥٣°

وتكون $هـ_٢$ مساوية :

$هـ_٢$ = ٤٦″ ١٧′ ١٤٤° أو ١٠″ ٢٤′ ٢٩٠°

وبالتعويض فى المعادلة (١) :

٢٠٠ جا $هـ_١$ + ٨٧,٥٤ - ٥٨ = صفر

∴ جا $هـ_١$ = - ٠,١٤٧٦٩٧

وتكون $هـ_١$ إما فى الربع الثالث أو الربع الرابع وبذلك تكون مساوية .

$هـ_١$ = ٣٦,٦″ ٢٩′ ١٨٨°

أو $هـ_١$ = ٢٣,٣″ ٣٠′ ٣٥١°

تمارين

١ ــ قذفت إحدى بطاريات المدفعية عند نقطة ا الموجودة فى إحدى المناطق طائرة معادية فهوت عمودية ، وأثناء سقوطها رصدها برج المراقبة عند ب فإذا علم أن إحداثيات موقع البطارية هى ١٠٠ غرباً ، ٥٦٠٠ جنوباً وإحداثيات ب هى ٧٠٠٠ غرباً ، ٤٤٠٠ شمالاً وأن زاويتى أرتفاع وانحراف الطائرة من موقع البطارية حين أصابتها كانت ٣٤° ، ٣٢٤° على الترتيب وزاوية انحراف الطائرة من برج المراقبة هى ١٧′ ٩٨° بين :

أولا ــ كيف تحدد موقع سقوط الطائرة على الأرض بتعيين أحداثيات هذا الموقع مستعملاً ثلاث طرق مختلفة ؟

ثانياً ــ حساب ارتفاع الطائرة لحظة اصابتها .

٢ ــ مضلع ا ب حـ ى أخذت رؤوسه ا ، ب ، حـ ، ى فى ترتيب دائرى واحد مع عقرب الساعة . وقد شكل هذا المضلع لإيجاد طول وانحراف ا ى الذى تعترضه عقبة ، فإذا كانت أطوال ا ب ، ب حـ ، حـ ى هى ١٠٠ ، ٢٥٠ ، ١٢٠ متراً على الترتيب والزاوية الخارجية عند ب هى ٤٤′ ٢٦٨° والزاوية الداخلية عند حـ هى ١٨′ ٩٧° . عين طول وانحراف ا ى ، إذا كان إنحراف حـ ب هو ٢٧٧° . وإذا أريد شق طريق محوره س ص حيث س ، ص منتصفا ا ب ، حـ ى فبين على أى بعد من نقطة حـ يقطع هذا الطريق الحد حـ ب .

٣ ــ ا ب حـ ى مضلع فيه هـ تقع على ب حـ ، وإحداثيات ب هى ٢٠٣ شرقاً ، ٦٥٢ شمالاً ، وأحداثيات حـ هى ٨٧١ شرقاً ، ٧١٠ شمالاً ، وأحداثيات ى هى ٧٥٦ شرقاً ، ٤٧٥ شمالاً وأحداثيات ا صفر شرقاً ، ١٠٠٠ شمالاً . فإذا كانت و نقطة على ا ى على بعد ٥٠٠ متر من ا وكانت هـ مسقط العمود من و على ب حـ فإحسب طول ب هـ وانحراف هـ و .

٤ ـــ قارب سباق رصد من نقطة س على الشاطىء إحداثياتها ١٥٤ جنوباً ، ٩٢٦٤ شرقاً ، فكان الأنحراف ١٧َ ٤٨° وفى نفس الوقت رصد القارب من ص التى إحداثياتها ٧٦٨ جنوباً ، ١١٤١٦ شرقاً فكان الأنحراف ٤٠َ ١٨° أحسب إحداثيات موقع القارب بطريقتين مختلفتين . وبعد ثلاث دقائق مر القارب بشمندورة إحداثياتها ٢٠ شمالاً ، ١١٧٦٤ شرقاً فما سرعة القارب وما هى إنحرافات مكان الشمندورة من نقطتى الرصد س ، ص .

٥ ـــ ا ب حـ ء ا ترافرس مقفل أرصاده هى :

الضلع	الطول (متر)	الأنحراف
ا ب	٤٠١	١٧١°
ب حـ	١٤٩	؟
حـ ء	٣٥٢	٣٠١°
ء ا	٢٠٢	؟

عين إنحراف ب حـ ، ء ا مستعملاً طريقة الترافرس موضحاً كافة الحلول .

٦ ـــ يبين الشكل زاوية طريق عرضه ٣٠ متر ، حـ ، ء ركنا الزاوية المتقابلين . يقترح تعديل الزاوية بإقتطاع جزء منها بالخط ب س ا حيث يقطع أحد جانبى الطريق فى ا ، ب ويقطع الخط الواصل بين الركنين فى س بحيث أنا حـ = ٥٠ متراً ، ا س = ٤٠ متراً . فإذا كان انحراف ا ب = ٦٠° وانحراف حـ ء = ١٨٠° فما انحراف ا حـ ، حـ ب وطول الخط حـ ء أوجد أيضاً إحداثيات نقطة ا إذا كانت احداثيات ء هى ١٠٠ غرباً ، ٧٨ جنوباً .

٧ ـــ قطعة أرض ا ب حـ شق طريق محوره س ص كما فى الشكل وبعرض جنزير واحد . وقد كان انحراف س ص ٥٧َ ٢١٤° وانحراف ا ب = ٨٧° وانحراف حـ ب = ١٧٠° . فإذا كان ب حـ = $\frac{1}{2}$ ب ا ، ا ع = ٣٤ جنزير

مسألة (٨)

مسألة (٦)

مسألة (٩)

مسألة (٧)

فما هو طول ا ب بالأمتار والسنتيمترات إذا كانت المساحة بدون الطريق هى ٨٠ فدان .

٨ ــ المسقط الأفقى المرفق يبين أساسات مبنى مكونة من أربعة أعمدة ، ويراد إنشاء نفق بعرض ٢ متر يمر بأسفل الأساسات بحيث يمس جانبا ركنى العمودين رقم (٢ ، ٣) فى ا ، ب والمطلوب :

أولاً ــ حساب أنحراف محور النفق .
ثانياً ــ حساب المسافة العمودية و س .

إذا علم أن المسقط الأفقى للأساسات عبارة عن مربعات ١,٠٠ × ١,٠٠ متر والأربعة أعمدة تكون مستطيلاً محاورها على أبعاد ٨ متراً ، ٦ متراً وانحراف المحور الواصل بين العمودين رقمى ١ ، ٢ = صفر .

٩ ــ مبنى دائرى يقع فى وسط ميناء كما هو مبين بالشكل أخذت له الأرصاد التالية من نقطتى ا ، ب التى أحداثياتها المحلية فى المنطقة كما يلى :

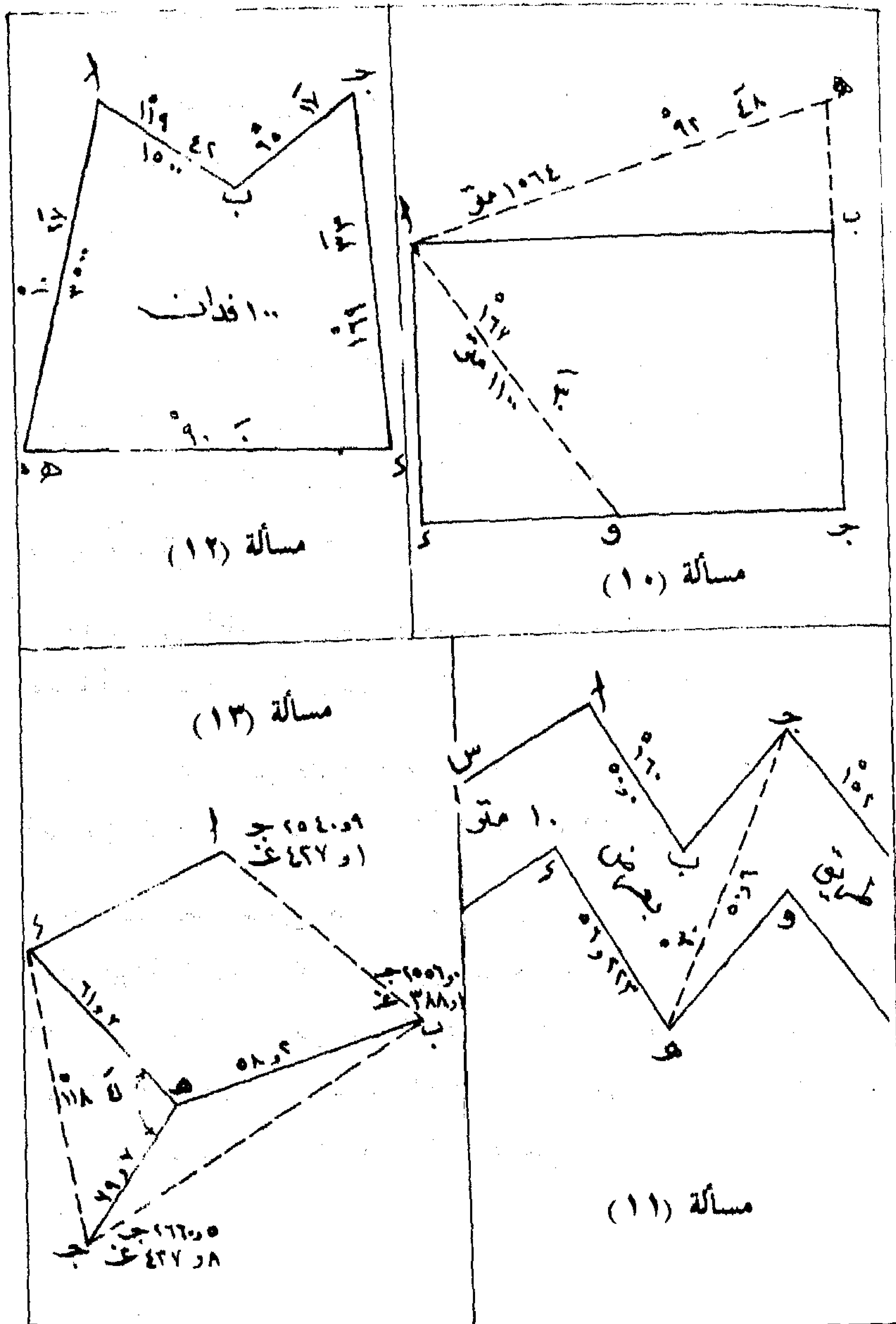
ا	٣٦٠٨,١ شرقاً	٩١٥,١ شمالاً
ب	٩٥٧,٦ شرقاً	١٨٠٨,٨ شمالاً

قيست الزوايا عند ا لنقط مماسة للجدران فكانت كما يلى :

ب ا ط = ٢٥′ ٢٥° ، ب ا و = ٣٥′ ٢٦° . ثم قيست الزوايا عند ب لنقط مماسة للجدران فكانت ا ب ى = ٢٩′ ٤٠° ، ا ب هـ = ٣١′ ٣٩° . أوجد أحداثيات مركز المبنى وكذلك نصف قطر المبنى الدائرى .

[الجواب : ٢٢١٦,٣ ، ٢٣٠١,٢ ونصف القطر ١١,٤٠]

١٠ ــ ا ب حـ ى قطعة أرض مستطيلة الشكل النسبة بين طولى ضلعيها ا ب : ب حـ = ٣ : ٢ . شق الطريقان ا هـ ، أو ليقابلا حـ ب ، حـ ى أو



مسألة (١٢)
مسألة (١٠)
مسألة (١٣)
مسألة (١١)

امتدادهما فى هـ ، و بالأطوال و الانحرافات المبينة . أوجد أبعاد قطعة الأرض .

[الجواب : ا ، ب = ١٥٦,٨٥ ، حـ ب = ١١٤,٥٠] .

١١ ــ طريق بعرض ١٠ أمتار كما فى الشكل والمعلومات المبينة . أحسب انحرافات وأطوال جوانب الطريق حـ ب ، هـ و ، انحراف ا س : (الجواب : ب حـ ٢٤َ ٥٤١ ، ٣٢,٧٦ ، هـ و : ٢٤َ ٥٤١ ، ٣٥,١٦ ، ا س : ٣٤َ ٥٢٤٦) .

١٢ ــ ا ب حـ ء قطعة أرض مساحتها ١٠٠ فدان . ب ا = ٣٥,٠ عقلة وانحرافه ١٧َ ٥١٠ ، ا ب = ٢٠٠٠ عقلة وإنحرافه ٤٢َ ٥١١٩ ، ب حـ : ١٧َ ٥٦٥ . حـ ء : ٣٣َ ٥١٦٩ ، ء هـ : ٠٠َ ٥٩٠ . أوجد أطوال الأضلاع ب حـ ، حـ ء ، هـ ء .

١٣ ــ من المعلومات المبينة أحسب طول وإنحراف ء ا ، وكذلك مساحة القطعة ا ب حـ ء . (الجواب : ٢٤َ ٥٦٤ ، ٤٥,١٣) .

١٤ ــ ركن طريق اقتطع جزء منه بالخط ا ب الذى إنحرافه ٥٧٠ . أوجد البعد بين الركنين ا ، ب . (٣٠ً ٠٤َ ٥١٧٣ ، ٦١,٩٠ م) .

١٥ ــ لإيجاد عرض بحيرة ب هـ أجرى ترافرس ا ب حـ ء هـ و ، وقد وجد أخيراً أن ا ، ب ، هـ ، و على إستقامة واحدة فإذا كان إنحراف ا ، ب = ١٤َ ٥٧ وطوله ٧٨ متراً ، وإنحراف ب حـ = ٥٧٢ ، وطوله ١٠٦ متراً وطول حـ ء = ٤٤ متراً وإنحرافه ١٩٩ أماء هـ فلم يمكن قياسه وإنما معلوم أنه يتجه إلى الجنوب تماماً ، هـ و طوله ٤٠ متر ، أوجد طول ء هـ ، وعرض البحيرة .

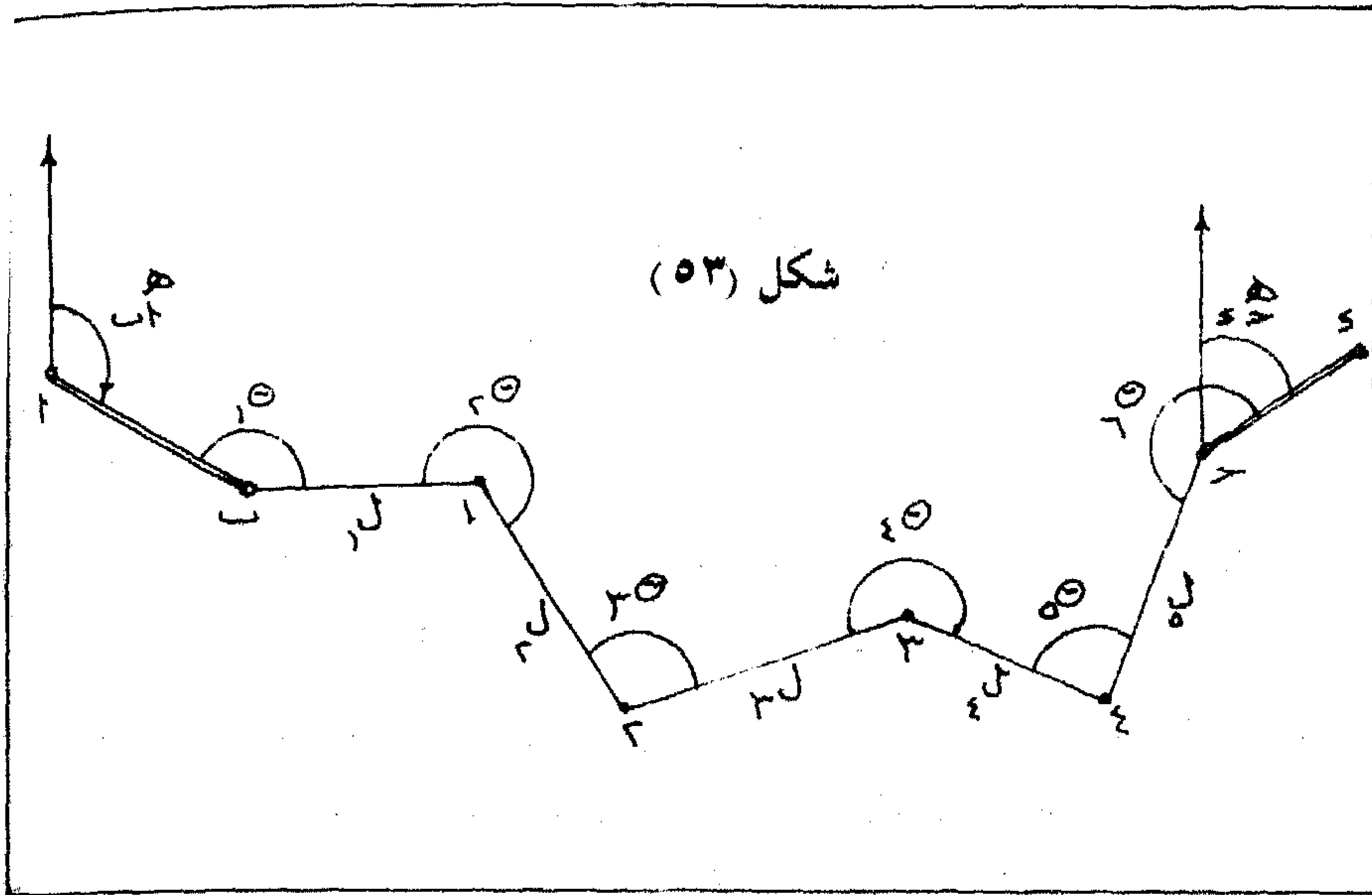
الباب السادس
الترافرس الموصل
Connecting Traverse

مقدمة :

يتم استخدام الترافرس الموصل لرفع المناطق التى يوجد بها نقط ترافرسات قديمة معلومة الأحداثيات عددها على الأقل اثنين يمكن اجراء الرصد المتبادل بينها حيث يتم تشكيل الترافرس الموصل من عدة خطوط متلاصقة يبدأ أولها من إحدى هذه النقط المعلومة وينتهى آخرها بنقطة ثانية معلومة ، كما أن خط البداية يربط عند النقطة الأولى على اتجاه معلوم هو الأتجاه الواصل بين نقطة البداية ونقطة معلومة ، وخط النهاية يربط عند النقطة الثانية على اتجاه معلوم أيضاً ، هو الأتجاه الواصل بين نقطة النهاية ونقطة معلومة .

ففى شكل (٥٣) ب ــ ١ ــ ٢ ــ ٣ ــ ٤ ــ حـ ترافرس موصل يبدأ من نقطة ب المعلوم إحداثياتها وينتهى عند نقطة حـ المعلومة الأحداثيات ، وخطوط الربط له هى ا ب عند البداية ، حـ ى عند النهاية حيث انحرافاتها تحسب من واقع أحداثيات النقط ا ، ب للأول ثم حـ ، ى للثانى .

ويتلخص عمل الغيط بالنسبة للترافرس الموصل فى قياس جميع الزوايا الأفقية بالتيودوليت والمحصورة بين خط الربط الأول والضلع الأول ($\theta_{١}$) والزوايا المحصورة بين الخطوط وبعضها ($\theta_{٢}$ ، $\theta_{٣}$ ، ...) ، والزاوية المحصورة بين الضلع الأخير وخط الربط الأخير ($\theta_{ن}$) بالشكل . كما يتم قياس أطوال أضلاع الترافرس ل $_{١}$ ، ل $_{٢}$ ، ... ل $_{ن}$ وذلك بدقة بإستخدام الشريط أو بأحد أجهزة القياس الألكترونى للمسافات أو أحدى أجهزة القياس التاكيومترى الدقيقة كما سوف نبين ذلك لاحقاً .



شكل (٥٣)

ومن شكل (٥٣) يلاحظ أنه إذا ما كان عدد أضلاع الترافرس الموصل هو (ھ) فإن الزوايا المقاسة فيه يكون عددها (ھ + ١) كما أن عدد النقط الجديدة المطلوب تعيينهافيه هو (ھ — ١) ، وعلى ذلك فإن أقل عدد الأضلاع لترافرس موصل هو أثنين لتعيين نقطة واحدة جديدة .

أما العمل المكتبى للترافرس الموصل فالغرض منه الحصول على مقادير أخطاء القفل سواء الزاوية أو الضلعية لتصحيح الأرصاد ثم الحصول على الأحداثيات الصحيحة لجميع نقط الترافرس .

والخطوات التالية هى الخطوات النموذجية لأجراء الحسابات .

١ — الكروكى :

يجرى كما فى الترافرس المقفل ويوضح عليه أطوال الخطوط والزوايا والملاحظات ، والكروكى يساعد كثيراً فى الحل شكل (٥٣) .

٢ ـ تصحيح خطأ القفل الزاوى :

ونسميه أيضاً خطأ الربط فالمفروض أننا إذا إبتدأنا وحسبنا إنحراف أول خط فى المضلع الموصل (ب ــ ١) بمعلومية الضلع الثابت ا ب والزاوية المقاسة θ_1 ثم إنحراف (١ ــ ٢)، (٢ ــ ٣)، (٣ ــ ٤)،(٤ ــ حـ)، ثم ربطنا على حـ ى المعلوم إنحرافه وذلك بمعلومية الزوايا، فإنه من الواجب أن يكون إنحراف حـ ى المحسوب يساوى إنحرافه المعلوم . أما إذا كان هناك فرق فإنه يكون هو خطأ القفل الزاوى ($\triangle$) لهذا الترافرس .

وعلى ذلك يمكن حساب خطأ القفل الزاوى ($\triangle$) من المعادلة التالية :

$$\triangle = \sum_{1}^{ن+1} \theta - [\alpha_I - \alpha_{II} + ١٨٠^\circ (ن + ١)]$$

(٥٣) ....

حيث $\sum_{1}^{ن+1} \theta$ = مجموع الزوايا المقاسة بين أضلاع الترافرس والمأخوذة دائماً ضد عقرب الساعة من الضلع السابق إلى اللاحق إبتداء من خط الربط الأول شكل (٥٣) .

α_I = إنحراف خط الربط الأول ا ب .

α_{II} = إنحراف خط الربط الأخير حـ ى .

ن = عدد أضلاع الترافرس الموصل .

أما إذا كانت الزوايا المقاسة مأخوذة دائماً مع عقرب الساعة فإن خطأ القفل يكون مساوياً .

$$\Delta = \sum_{1}^{ن+1} \theta - [\alpha_{II} - \alpha_{I} + ١٨٠° (ن + ١)]$$

(٥٤) ......

والخطأ الزاوى المسموح به فى الترافرسات الموصلة يمكن حسابه من المعادلة :

الخطأ المسموح به = ٢ و″ $\sqrt{ن_ر}$ ..... (٥٥)

حيث و = دقة القراءة للدائرة الأفقية للتيودوليت المستعمل .

$ن_ر$ = عدد الزوايا الكلية المقاسة فى الترافرس = ن + ١

فإذا كان خطأ القفل أكبر من المسموح به فيجب إعادة الأرصاد ، أما إذا كان الخطأ مسموحاً به فإنه يوزع بالتساوى على جميع الزوايا المقاسة . ثم يحسب بعد ذلك الإنحراف المصحح لكل ضلع .

ويمكن حساب خطأ القفل الزاوى بحساب إنحرافات الأضلاع إبتداء من خط الربط الأول وحتى خط الربط الأخير . ونقارن إنحرافه المعلوم مع الأنحراف المحسوب له ، والفرق فى هذه الحالة هو خطأ القفل الذى يمكن توزيعه مباشرة على إنحرافات الخطوط المحسوبة وبأشارة مخالفة كالتالى :ـــ

تصحيح إنحراف الخط الأول $ف_١ = \frac{-\Delta}{ن + ١}$

تصحيح إنحراف الخط الثانى $ف_٢ = -\frac{٢\Delta}{ن + ١}$

....

تصحيح إنحراف خط الربط الأخير $ف_{ه+1} = -\frac{(ه+1)\triangle}{ه+1}$

$= -\triangle$

٣ ـ حساب المركبات الأفقية والرأسية :

نحسب المركبات الأفقية والرأسية لجميع الأضلاع كما فى المضلع المقفل تماماً .

٤ ـ خطأ القفل الضلعى وتصحيحه :

الترافرس الموصل يبتدىء من نقطة معلوم إحداثياتها وينتهى بنقطة معلوم إحداثياتها كما سبق ذكره ، فإذا ابتدأنا حساب الأحداثيات من النقطة الأولى فإننا نحصل على إحداثيات النقطة النهائية بالحساب والتى قد تختلف عن إحداثياتها المعلومة ، وهذا ناتج عن تراكم الأخطاء فى الرصد ومن الأجهزة نفسها .

وعلى ذلك تحسب إحداثيات النقط ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، حـ بمعلومية النقطة المعلومة (ب) ونحسب الفرق بين إحداثيات (حـ) المعلومة والمحسوبة فتكون هى مركبات خطأ القفل الضلعى $\triangle$ س ، $\triangle$ ص . وهذا يمكن الحصول عليه من المعادلات التالية :

$$\triangle س = س_{ب} + \sum_{1}^{ه} س - س_{حـ}$$

$$\triangle ص = ص_{ب} + \sum_{1}^{ه} ص - ص_{حـ} \quad ...... (٥٦)$$

حيث :

$س_ب$ ، $ص_ب$ = أحداثيات نقطة البداية .

$س_ح$ ، $ص_ح$ = أحداثيات نقطة النهاية .

$\sum_{1}^{هـ} س$ = مجموع المركبات الأفقية للأضلاع .

$\sum_{1}^{هـ} ص$ = مجموع المركبات الرأسية للأضلاع .

وعلى هذا فإن خطأ القفل الضلعي يكون مساوياً .

$$\triangle ل = \sqrt{(\triangle س)^{٢} + (\triangle ص)^{٢}}$$

$$\text{والخطأ النسبي} = \frac{\text{مقدار خطأ القفل}}{\text{مجموع أطوال الأضلاع}}$$

ويكون خطأ القفل الضلعي مسموحاً به إذا ما كان :

في المدن : $\frac{١}{٢٠٠٠}$ من طول المضلع
في الأرياف : = ٢٥ سم + ٠,٠٣١ ل + ١,١٣ $\sqrt{ل}$

... (٥٧)

حيث ل طول المضلع بالمتر والمسموح به بالسنتيمتر .

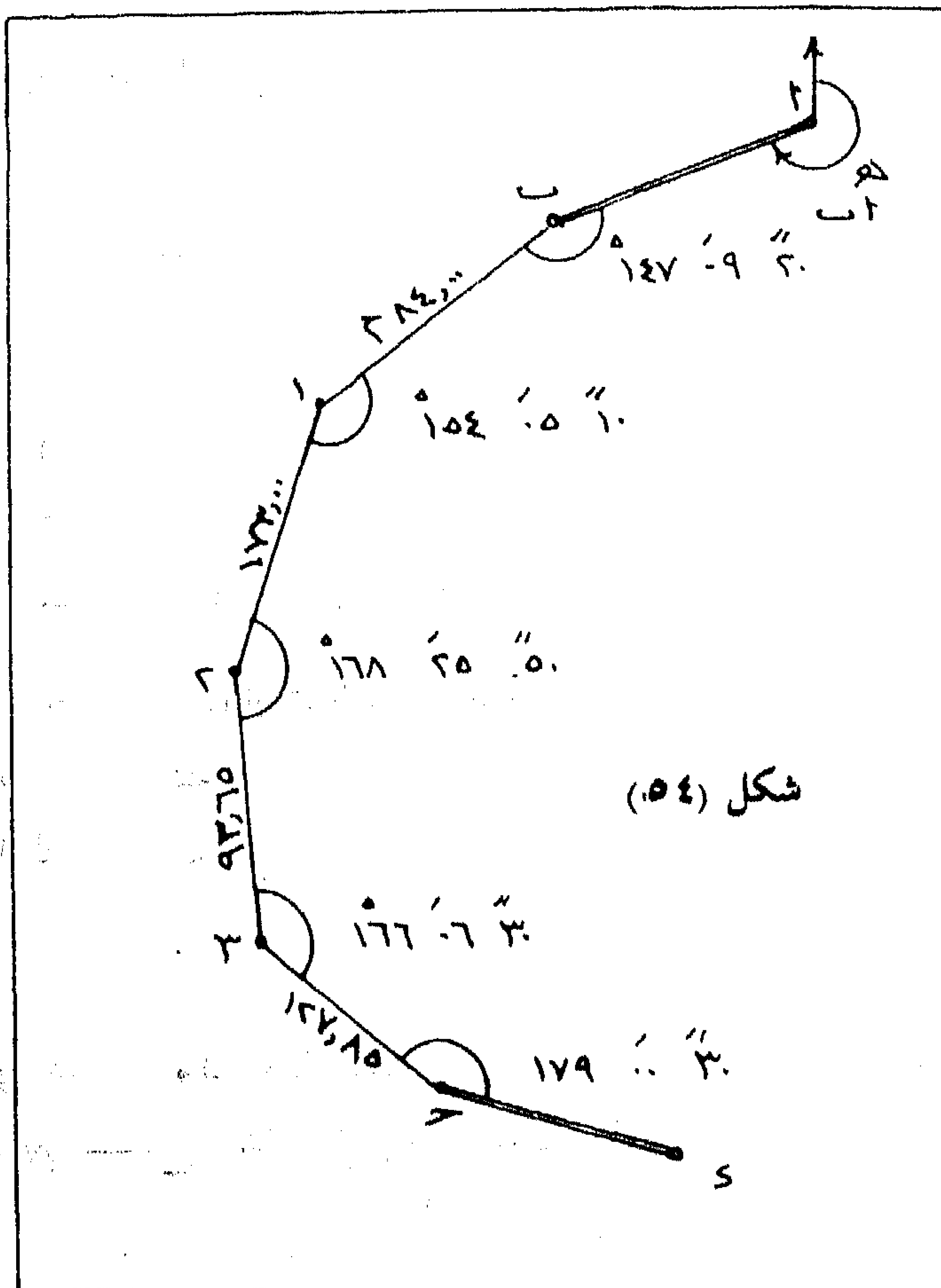
وإذا كان الخطأ مسموحاً به فتوزع مركباته على مركبات الأضلاع بنسبة طول كل ضلع إلى المجموع الكلي للأضلاع وبأشارة مخالفة (طريقة بودتش) أما إذا كان قياس الزوايا الأفقية في الترافرس قد تم بدقة عالية فإن تصحيح خطأ القفل الضلعي يتم بأستخدام طريقة المركبات .

٥ ـ توقيع المضلع :

يوقع المضلع الموصل أما بالأحداثيات الكلية للنقط أو بمركبات الأضلاع كما هو متبع فى المضلعات المقفلة .

مثال :

شكل (٥٤) يبين كروكى لترافرس موصل ب ـ ١ ـ ٢ ـ ٣ ـ حـ يربط على النقط الثابتة ب ، حـ وخطى الربط ا ب ، حـ ء ، فإذا كانت أحداثيات نقط الربط ب ، حـ هى :



شكل (٥٤)

س ب = + ١٠٧٤,١٨٢ ، ص ب = + ١١٢٥,٠٥٣ متر

س جـ = + ١٠٤٤,٨٤٦ ، ص جـ = ٦٦٨,٨٩٥ متر

وإنحرافات خطوط الربط هى :

هـ اب = ٢٤٧° ٠٤' ١١"

هـ جـ د = ١٦١° ٥١' ٠٧"

فعين الأحداثيات المصححة للنقط .

الحـــــل :

ا ـــ خطأ القفل الزاوى وتصحيحه :

يلاحظ من الكروكى أن الزوايا مقاسة من الضلع السابق إلى اللاحق فى اتجاه عقرب الساعة ، وبتطبيق المعادلة (٥٤) لتعيين مقدار خطأ القفل الزاوى نجد أن :

$\triangle''$ = (١٤٧° ٠٩' ٢٠" + ١٥٤° ٠٥' ١٠" + ١٦٨° ٢٥' ٥٠"
+ ١٦٦° ٠٦' ٣٠" + ١٧٩° ٠٠' ٣٠") − [١٦١° ٥١' ٠٧"
ـــ ٢٤٧° ٠٤' ١١" + (٥ × ١٨٠°)] = + ٢٤"

وواضح من قيم الزوايا المرصودة والموضحة بالكروكى ان القياس الزاوى تم بجهاز تيودوليت دقته ١٠" وعلى ذلك يكون المسموح به كخطأ قفل زاوى فى هذا الترافرس الموصل مساوياً :

المسموح به = ٢ × ١٠" $\sqrt{٥}$ = ٤٤,٧٢"

وعلى ذلك يكون خطأ القفل الزاوى وقدره + ٢٤" مسموحاً به .
وبذلك يتم تصحيح مقدار كل زاوية مقاسة بالمقدار ت حيث :

$$ت = - \frac{٢٤}{٥} = - ٤,٨''$$

وعلى ذلك تكون مقادير الأنحرافات المصححة للخطوط هى :ـ

انحراف ب ـ ١ = ١١″ ٠٤′ ٢٤٧° ـ ١٨٠° + (٢٠″ ٠٩′ ١٤٧° - ٤,٨″)

= ٢٦,٢″ ١٣′ ٢١٤°

انحراف ١ ـ ٢ = ٢٦,٢″ ١٣′ ٢١٤° - ١٨٠° + (١٠″ ٠٥′ ١٥٤° - ٤,٨″)

= ٣١,٤″ ١٨′ ١٨٨°

انحراف ٢ ـ ٣ = ٣١,٤″ ١٨′ ١٨٨° - ١٨٠° + (٥٠″ ٢٥′ ١٦٨° - ٤,٨″)

= ١٦,٦″ ٤٤′ ١٧٦°

انحراف ٣ ـ حـ = ١٦,٦″ ٤٤′ ١٧٦° + ١٨٠° + (٣٠″ ٠٦′ ١٦٦° - ٤,٨″)

ـ ٣٦٠° = ٤١,٨″ ٥٠′ ١٦٢°

انحراف خط الربط الأخير حـ ـ د = ٤١,٨″ ٥٠′ ١٦٢° + ١٨٠° +

(٣٠″ ٠٠′ ١٧٩° - ٤,٨″) - ٣٦٠°

= ٠٧″ ٥١′ ١٦١° (تحقيق)

ب ـ خطأ القفل الضلعى وتصحيحه :

لحساب مركبات خطأ القفل الضلعى يتم حساب مركبات أضلاع الترافرس الموصل بمعلومية أطوال هذه الأضلاع وانحرافاتها المصححة . وفى جدول (٨) تم حساب الأنحراف المختصر لكل ضلع ثم حسبت المركبات الأفقية والرأسية للأضلاع ومن ثم تم حساب مجموع مركبات الأضلاع وبالتعويض فى المعادلات (٥٦) تم الحصول على مركبات خطأ القفل الضلعى ثم حسب الخطأ النسبى فكان ١ : ٢٤٨٦ وهو مسموح به ، ثم حسبت التصحيحات فى مركبات الأضلاع بأستخدام طريقة المركبات وأضيفت هذه التصحيحات جبرياً إلى مركبات الأضلاع فتم الحصول على قيم المركبات المصححة . ولقد تم حساب الأحداثيات المصححة للنقط الجديدة فى جدول (٩) ويلاحظ أنه قد تم حساب أحداثيات نقطة حـ كتحقيق للعمل .

جدول (رقم ٨) تصحيح الترافرس الموصل

الضلع	طوله (متر)	الأنحراف الدائرى المصحح	الأنحراف المختصر	مركبة أفقية	مركبة رأسية	التصحيح فى المركبة الأفقية	التصحيح فى المركبة الرأسية	مركبة أفقية مصححة	مركبة رأسية مصححة
ب ــ ١	٨٤,٠٠	٢ ٢٦ ١٣ ٢١٤°	حـ ٢ ٢٦ ١٣ ٣٤° غـ	٤٧,٢٤٤ −	٦٩,٤٥٥ −	٠,٠٥٤ −	٠,٠٢١ +	٤٧,٢٩٨ −	٦٩,٤٣٤ −
١ ــ ٢	١٧٣,٠٠	٤ ٣١ ١٨ ١٨٨	حـ ٤ ٣١ ١٨ ٠٨ غـ	٢٥,٠٠٠ −	١٧١,١٨٤ −	٠,٠٢٨ −	٠,٠٥٣ +	٢٥,٠٢٨ −	١٧١,١٣١ −
٢ ــ ٣	٩٣,٦٥	٦ ١٦ ٤٤ ١٧٦	حـ ٤ ٤٣ ١٥ ٠٣ ق	٥,٣٢٩ +	٩٣,٤٩٨ −	٠,٠٠٦ −	٠,٠٢٩ +	٥,٣٢٣ +	٩٣,٤٦٩ −
٣ ــ حـ	١٢٧,٨٥	٨ ٤١ ٥٠ ١٦٢	حـ ٢ ١٨ ٠٩ ١٧ ق	٣٧,٧١٠ +	١٢٢,١٦٢ −	٠,٠٤٣ −	٠,٠٣٨ +	٣٧,٦٦٧ +	١٢٢,١٢٤ −
Σ	٤٧٨٥٠			٢٩,٢٠٥ −	٤٥٦,٢٩٩ −	٠,١٣١ −	٠,١٤١ +		
			المجموع العددى	١١٥,٢٨٣	٤٥٦,٢٩٩				

△ س = ١٠٧٤,١٨٢ ــ ٢٩,٢٠٥ ــ ١٠٤٤,٨٤٦ = + ٠,١٣١ متر

△ ص = ١١٢٥,٠٥٣ ــ ٤٥٦,٢٩٩ ــ ٦٦٨,٨٩٥ = − ٠,١٤١ متر

$$\triangle ل = \sqrt{(+٠,١٣١)^{٢} + (-٠,١٤١)^{٢}} = ٠,١٩٢ \text{ متر}$$

$$\frac{\triangle ل}{\Sigma ل} = \frac{٠,١٩٢}{٤٧٨,٥٠} = \frac{١}{٢٤٨٦} < \frac{١}{٢٠٠٠} \text{ مسموح به}$$

$$\text{التصحيح فى المركبة الأفقية للضلع ب ــ ١} = -٠,١٣١ \times \frac{٤٧,٢٤٤}{١١٥,٢٨٣} = -٠,٠٥٤ \text{ متر}$$

$$\text{التصحيح فى المركبة الرأسية للضلع ب ــ ١} = +٠,١٤١ \times \frac{٦٩,٤٥٥}{٤٥٦,٢٩٩} = +٠,٠٢١ \text{ متر}$$

جدول (٩) الأحداثيات المصححة

	س	ص
نقطة (ب)	+ ١٠٧٤,١٨٢	+ ١١٢٥,٠٥٣
مركبات ب ــ ١	− ٤٧,٢٩٨	− ٦٩,٤٣٤
نقطة ١	+ ١٠٢٦,٨٨٤	+ ١٠٥٥,٦١٩
مركبات ١ ــ ٢	− ٢٥,٠٢٨	− ١٧١,١٣١
نقطة ٢	+ ١٠٠١,٨٥٦	+ ٨٨٤,٤٨٨
مركبات ٢ ــ ٣	+ ٥,٣٢٣	− ٩٣,٤٦٩
نقطة ٣	− ١٠٠٧,١٧٩	+ ٧٩١,٠١٩
مركبات ٣ ــ حـ	+ ٣٧,٦٦٧	− ١٢٢,١٢٤
نقطة حـ	+ ١٠٤٤,٨٤٦	+ ٦٦٨,٨٩٥

تحقيق

تماريــن

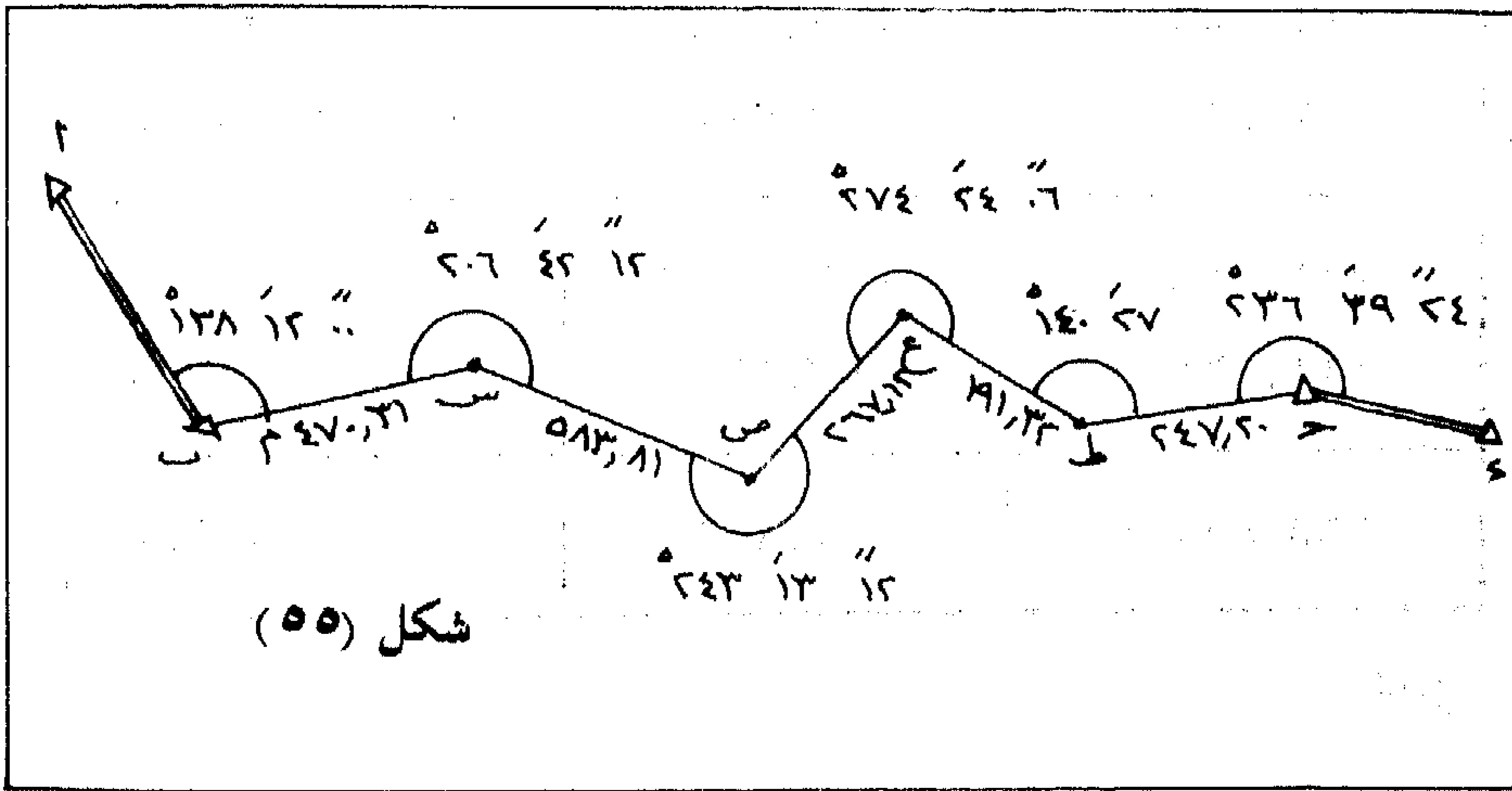
١ ــ المطلوب حساب الأحداثيات المصححة لنقط المضلع الموصل ب س ص ع ط حـ الموضح بالشكل (٥٥) إذا كانت أحداثيات نقطتى الربط ب ، حـ هى :

س ب = ٤٢٨٤,١٨ ص ب = ٩٣٤٢,٢١

س حـ = ٥٦٠٦,٢١ ص حـ = ٨٤٧٧,١٢

والانحراف الدائرى لخط الربط الأول ا ب هو ٠٦″ ٢٩′ ١٥٢°

والانحراف الدائرى لخط الربط الأخير حـ ء هو ٢٤″ ٤٠′ ١٨٥°



شكل (٥٥)

٢ ــ ترافرس موصل ١ ــ ٢ ــ ٣ ــ ٤ ــ ٥ ــ ٦ ــ ٧ ــ ٨ ــ ٩ ــ ١٠ ــ ١١ ــ ١٢ ــ ١٣ كانت أحداثيات نقطتى الربط ١ ، ١٣ هى :

١ (٨٤٤٥,٦٨٠ ، ٢٩٠٧١,١٥٣) ، ١٣ (٧٧٤٨,٣٢٨ ، ٢٥٦٦٨,٩٤٤)

وكان الترافرس يربط على خطى الربط ا ــ ١ ، ١٣ ــ ب أنحرافاتها هى

٢٥,٤″ ٤٣′ ١٦° ، ٤٦,٧″ ٥٥′ ١٧٨° على الترتيب . فإذا كانت الزوايا الأفقية المقاسة فى اتجاه عقرب الساعة بين الأضلاع وبعضها (بما فى ذلك خطوط الربط) هى كما هو مبين بالجدول . عين الأنحرافات المصححة لأضلاع هذا المضلع .

النقطة	الزاوية المقاسة	النقطة	الزاوية المقاسة
١	٣٧″ ١٩′ ٤٦°	٨	٢٦″ ٠٤′ ١٨٢°
٢	٣٧ ١٤ ١٨٢°	٩	١٦ ٣٥ ١٤١°
٣	١٩ ٤١ ١٨٠°	١٠	٥٢ ٢٩ ١٧٦°
٤	٢٤ ١٦ ١٧٢°	١١	٠٤ ٤٧ ١٨٢°
٥	٥١ ٤٨ ١٣٣°	١٢	٠٧ ٣٦ ١٧٥°
٦	٠٤ ٢٢ ١٨٠°	١٣	٣٧ ١٤ ٢١٧°
٧	١٩ ٤٢ ١٧٠°		

٣ ــ أ ، ب نقطتا ترافرس قديم سبق ايجاد احداثياتها وهى :

أ (+ ٨٤٣٢,٥٠ ، + ٦٩٨١,٢٣)

ب (+ ٩٣٥٧,٥٦ ، + ٤١٤٥,٥٣)

وربط الترافرس أ ــ ١ ــ ٢ ــ ٣ ــ ٤ ــ ب عليهما وكانت الأطوال والأنحرافات المرصودة هى :

الخط	الأنحراف	الطول (بالمتر)
ا ــ ١	١٥١° ٥٤′ ٢٠″	٥٦٤,٣١
١ ــ ٢	١٥٨° ٣٠ ٢٥	٣٩٤,٨٢
٢ ــ ٣	١٦١° ٠٢ ١٠	٩٥٣,٦٥
٣ ــ ٤	١٦٨° ١٥ ٠٠	٥٤٠,٠٣
٤ ــ ب	١٧٠° ٠٣ ٥٠	٥٤٨,٩٠

عين قيمة كل من الخطأ الزاوى وخطأ القفل الضلعى وبين إذا كانت الأخطاء مسموح بها أم لا . إذا كان الترافرس . (أولاً) قد أجرى فى منطقة الكلية (ثانياً) قد أجرى فى منطقة كفر الدوار الزراعية . ثم احسب الأحداثيات المصححة لنقطه .

٤ ــ ا ب حـ ء هـ و ترافرس موصل . أحسب إحداثيات نقطه المختلفة إذا كانت :

النقطة	الزاوية	أحداثى رأسى	أحداثى أفقى	الخط	الطول
ا		١٣٣٦,٣٥	١٠٥٠,٤٧		
ب	٨٦° ٣٣′	١٠٠٠,٠٠	١٠٠٠,٠٠	ب حـ	٣٤٧,١٥
حـ	٢٢٣ ٥٥			حـ ء	٤٤٩,٨٢
ء	١١٤ ٤٨			ء هـ	١٤٤,٧٦
هـ	١٤١ ٣٦	٦٧٠,٢٣	١٧٨٠,٢٧		
و		٩٤٥,٩٧	١٩٧٥,٧٤		

الباب السابع
الترافرس المفتوح
(Open Traverse)

هذا النوع لا يمكن تصحيحه تماماً ، إذ أن التصحيح اللازم فى الإحداثيات الأفقية والرأسية لخطوطها غير معلوم لأن خطأ القفل غير معلوم ، ولذلك يلزم الحصول على بعض المعلومات فى الطبيعة لتساعد على تحقيق العمل . وعلى ذلك فهو يستخدم فى أعمال رفع المناطق التى لا تحتاج إلى دقة عالية فى الرفع .

وفى الواقع أن هذا النوع من الترافرسات لا يعتمد عليه ونضبطه بتحويله ، إذا أمكن ، إلى ترافرس مقفل أو موصل بالربط على نقط معلومة ، وإلا فيجب قياس كل ضلع وكل زاوية مرتين على الأقل . وفى مصلحة المساحة يتحتم أن يجرى الأرصاد شخصان مختلفان ثم تجرى الحسابات لكل مجموعة من الأرصاد على حدة ، فنأتى بإحداثيات النقط ثم يؤخذ متوسط النتيجتين لكل نقطة على شرط أن يكون الفرق فى كل إحداثى كما حسب من المجموعة الأولى ، بمقارنته بحسابات المجموعة الثانية ، لا يتجاوز الفرق المسموح به والذى يحسب فى هذه الحالة من المعادلات الآتية :

المسموح فى خطأ القفل فى الزوايا = ٧٠″ $\sqrt{٢\ ن}$
بين مجموعتين
أو = ٢ و $\sqrt{٢\ ن}$ .... (٥٩)

حيث و = دقة التيودوليت المستعمل .

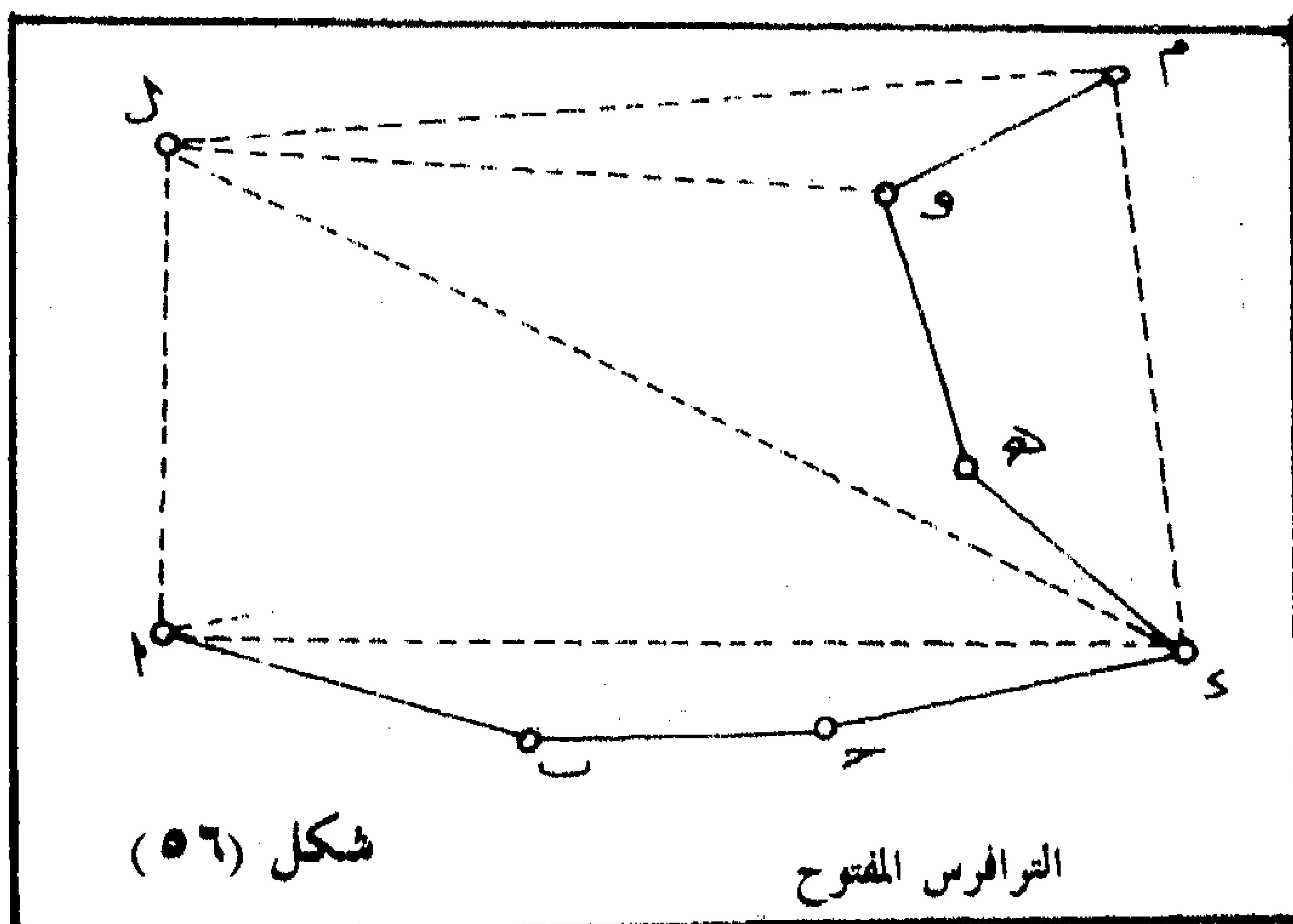
ن = عدد الزوايا المقاسة

المسموح فى الفرق بين إحداثيات المجموعتين = ٢٥ + ٠,٠٦٢ ل + ١,١٣ $\sqrt{٢ ل}$

.... (٦٠)

التغلب على عيوب المضلع المفتوح :

فى حالة المضلع المفتوح ا حـ ب ء هـ و م شكل (٥٦) إذا تيسر رؤية بعض نقط من بعضها الآخر مثلء من ا ، م من ء فإنه يمكن إعتبار كل من القسمين ا ب حـ ء ، ء هـ و م مضلع مقفل مستقل وتحقيقه كما سبق ، وإلا فإننا نبحث عن نقطة واضحة مثل ل خارج المضلع ونقيس إنحرافات الخطوط الواصلة من بعض النقط إليها مثل ا ل ، و ل ، ء ل ، م ل أو نقيس الزوايا ل ا ب ، حـ ء ل ، ل و م ، يكون تحقيق العمل إما بالرسم وحينئذ يجب أن تتقابل الأشعة الثلاثة ا ل ، ء ل ، م ل فى نقطة واحدة ، أو يكون التحقيق بالحساب ، فتحسب إحداثيات النقطة ل عن طريق ا ل ، ء ل ، وتحقق إحداثياتها المحسوبة من م ل . ويلاحظ أن الطريقة الثانية لا تصلح للتطبيق فى الغيط لطول الأعمال الحسابية ، ولذلك يحسن فى حالة المضلع المفتوح قياس كل زاوية مرتين وتقارن النتائج ببعض كما سبق ذكره .



شكل (٥٦) الترافرس المفتوح

مثال :

قام راصدان بأخذ الأرصاد التالية جدول (١٠) لترافرس مفتوح ب حـ ى يربط على الخط ا ب الذى انحرافه ١٢َ ١٦٢° .

جدول (١٠)

النقطة	الخط	الطول (متر)		الزاوية فى إتجاه عقرب الساعة	
		الراصد الأول	الراصد الثانى	الراصد الأول	الراصد الثانى
ب				١٣١° ٤٢ ٣٦	١٣١° ٤١ ٥٤
	ب حـ	١٢٠,١٢	١٢٠,٤٤		
حـ				٦٤ ١١ ٠٠	٦٤ ١٠ ٤٨
	حـ ى	٧٨,٤٨	٧٨,٣٠		
ى					

عين أحداثيات النقط حـ ، ى فى هذا الترافرس علماً بأن احداثيات نقطة البداية ب هى ١٠٠ غرباً ، ١٥٠ جنوباً .

الحـــل :

١ ـــ يتم حساب انحرافات أضلاع الترافرس من واقع أرصاد الراصدين :

أنحراف ب حـ للراصد الأول = ١٢َ ١٦٢° + ١٨٠° + ٣٦ً ٤٢َ ١٣١°
− ٣٦٠° = ٣٦″ ٥٤′ ١١٣°

أنحراف ب حـ للراصد الثانى = ١٢َ ١٦٢° + ١٨٠° + ٥٤ً ٤١َ ١٣١°
ـــ ٣٦٠° = ٥٤″ ٥٣′ ١١٣°

وبذلك يكون الفرق بين نتائج الراصدين لهذا الخط = ٤٢″

المسموح به = ٧٠ $\sqrt{٢ ن}$ = ٧٠ $\sqrt{٢ × ١}$ = ٩٩″

وبذا فإن الفرق يكون فى حدود المسموح به .

وبالمثل إنحراف حـ ء للراصد الأول = ٣٦″ ٠٥′ ٣٥٨°

إنحراف حـ ء للراصد الثانى = ٤٢ ٠٤ ٣٥٨°

الفرق = ٥٤″ < ٧٠ $\sqrt{}$ ٢ × ٢

∴ < ١٤٠″ مسموح به

٢ ــ يتم حساب مركبات الأضلاع لكل من الراصدين كما هو مبين فى الجدول (١١) التالى :

جدول رقم (١١)

الضلع	الراصد الأول				الراصد الثانى			
	الطول	الأنحراف	مركبة أفقية	مركبة رأسية	الطول	الأنحراف	مركبة أفقية	مركبة رأسية
ب حـ	١٢٠,١٢	٣٦ ٥٤ ١١٣°	١٠٩,٨١+	٤٨,٦٨−	١٢٠,٤٤	٥٤ ٥٣ ١١٣°	١١٠,١١+	٤٨,٧٩−
حـ ء	٧٨,٤٨	٣٦ ٠٥ ٣٥٨	٢,٦٢−	٧٨,٤٤+	٧٨,٣٠	٤٢ ٠٤ ٣٥٨	٢,٥٣−	٧٨,٢٦+

٣ ــ يتم حساب مركبات خطأ القفل الضلعي لكل ضلع من واقع المركبات المحسوبة للأضلاع للراصدين ، ويحسب خطأ القفل لتعين أحداثيات كل نقطة ويقارن بالمسموح به .

الضلع ب حـ

$\triangle$ س ب حـ = ١٠٩,٨١ ــ ١١٠,١١ = ــ ٠,٣٠ متر = $\triangle$ س حـ

$\triangle$ ص ب حـ = ــ ٤٨,٦٨ ــ (ــ ٤٨,٧٩) = + ٠,١١ متر = $\triangle$ ص حـ

$\triangle$ ل حـ = $\sqrt{(٠,٣٠)^٢ + (٠,١١)^٢}$ = ٠,٣٢ متر

المسموح به لتعيين أحداثيات (حـ)

= ٢٥ + ٠,٠٦٢ × ١٢٠ + ١,١٣ $\sqrt{٢ \times ١٢٠}$ = ٤٩,٩٥ سنتيمتر

∴ الخطأ مسموح به

الضلع حـ ء

Δ س حـ ء = — ٢,٦٢ — (— ٢,٦٣) = + ٠,٠١ متر

Δ ص حـ ء = + ٧٨,٤٤ — (+ ٧٨,٢٦) = + ٠,١٨ متر

∴ Δ س ء = — ٠,٣٠ + ٠,٠١ = — ٠,٢٩ متر

Δ ص ء = + ٠,١١ + ٠,١٨ = + ٠,٢٩ متر

∴ Δ ل ء = $\sqrt{}$ (٠,٢٩)^{٢} + (٠,٢٩)^{٢} = ٠,٤١ متر

المسموح به لتعيين احداثيات (ء)

= ٢٥ + ٠,٠٦٢ × (١٢٠ + ٧٨) + ١,١٣ $\sqrt{}$ ٢ × (١٢٠ + ٧٨)

= ٥٩,٧٦ سنتيمتر

∴ الخطأ مسموح به

٤ — إذا ما كانت الأخطاء مسموحاً بها يتم حساب أحداثيات النقط الجديدة كمتوسط للأحداثيات المحسوبة من واقع أرصاد الراصدين كما هو مبين فى الجدول (١٢) التالى :

جدول (١٢)

الخط	الراصد الأول		الراصد الثانى		المتوسط	
	س	ص	س	ص	س	ص
ب ب حـ	— ١٠٠ + ١٠٩,٨١	— ١٥٠ - ٤٨,٦٨	- ١٠٠ + ١١٠,١١	- ١٥٠ - ٤٨,٧٩	- ١٠٠	- ١٥٠
حـ حـ ء	+ ٩,٨١ - ٢,٦٢	- ١٩٨,٦٨ + ٧٨,٤٤	+ ١٠,١١ - ٢,٦٣	- ١٩٨,٧٩ + ٧٨,٢٦	+ ٩,٩٦	- ١٩٨,٧٣٥
ء	+ ٧,١٩	- ١٢٠,٢٤	+ ٧,٤٨	- ١٢٠,٥٣	+ ٧,٣٣٥	- ١٢٠,٣٨٥

ملحوظـــة :

إذا ما تجاوزت الأخطاء فى أى مرحلة حدود المسموح به تعاد الأرصاد الخاصة بهذه المرحلة للراصدين .

تمارين

١ ــ قام راصدان برصد ترافرس مفتوح ا ب حـ ء يربط عند البدء على س ا واحداثيات ا هى ٥٠ شرقاً ، ٧٥ جنوباً . وانحراف س ا = ٢٢٤° .

	الراصد الأول	الراصد الثانى
ا ب	٧٠,٤٠ متر	٧٠,٧٠ متر
ب حـ	١٢٨,١٥ متر	١٢٧,٩٠ متر
حـ ء	٢٣٤,٧٠ متر	٢٣٤,٢٠ متر
الزاوية س ا ب	١٢٧° ١٦′	١٢٧° ١٤′
الزاوية ا ب حـ	١٣٤° ٢١′	١٣٤° ٤٠′
الزاوية ب حـ ء	١٧٨° ٢٠′	١٧٨° ٤٧′

إحسب أحداثيات ء الصحيحة مع التجاوز عن الأخطاء إذا كانت غير مسموح بها ؛ بين إذا كانت مسموح بها أم لا .

٢ ــ ترافرس مفتوح ب حـ ء يربط على ا ب قيست أطوال الأضلاع والزوايا المحصورة بينها بواسطة راصدين فكانت على النحو التالى :

	الراصد الأول	الراصد الثانى
طول الضلع ب حـ	٢٠٠,٠٠ متر	٢٠٠,٦٠ متر
طول الضلع حـ ء	١١٧,٥٠ متر	١١٦, ٧ متر
الزاوية ا ب حـ	١٢٠° ١٨′	١١٩° ٤٧′

(ضد عقرب الساعة)

الزاوية ب حـ ء 　　 ٢٢ َ ١٤٣ ° 　　 ٥٦ َ ١٤٢ °
(ضد عقرب الساعة)

فإذا كان انحراف ب أ = ٣١٠ ° وكان الترافرس قد شكل فى إحدى قرى الوجه البحرى فإوجد عند أى خطوة فى الحسابات يجب إعادة الأرصاد لهذا الترافرس .

وبفرض أن الأخطاء مسموحاً بها عين أحداثيات النقط الجديدة حـ ، ء إذا كانت أحداثيات ب (١٤٠ جنوباً ، ٦٠٠ غرباً) .

الباب الثامن

شبكات الترافرسات

عند رفع المناطق المتسعة فإن تشكيل حلقة مقفلة واحدة أو حلقة موصلة مفردة لا يكفى عادة لأن تكون هيكل أساسى للرفع مما يترتب عليه استخدام عدة حلقات متجاورة — سواء مقفلة أو موصلة — تشكل فيما بينها **شبكة ترافرسات** . وفى شكل (٥٧) موضح عدة أمثلة لشبكات ترافرسات .

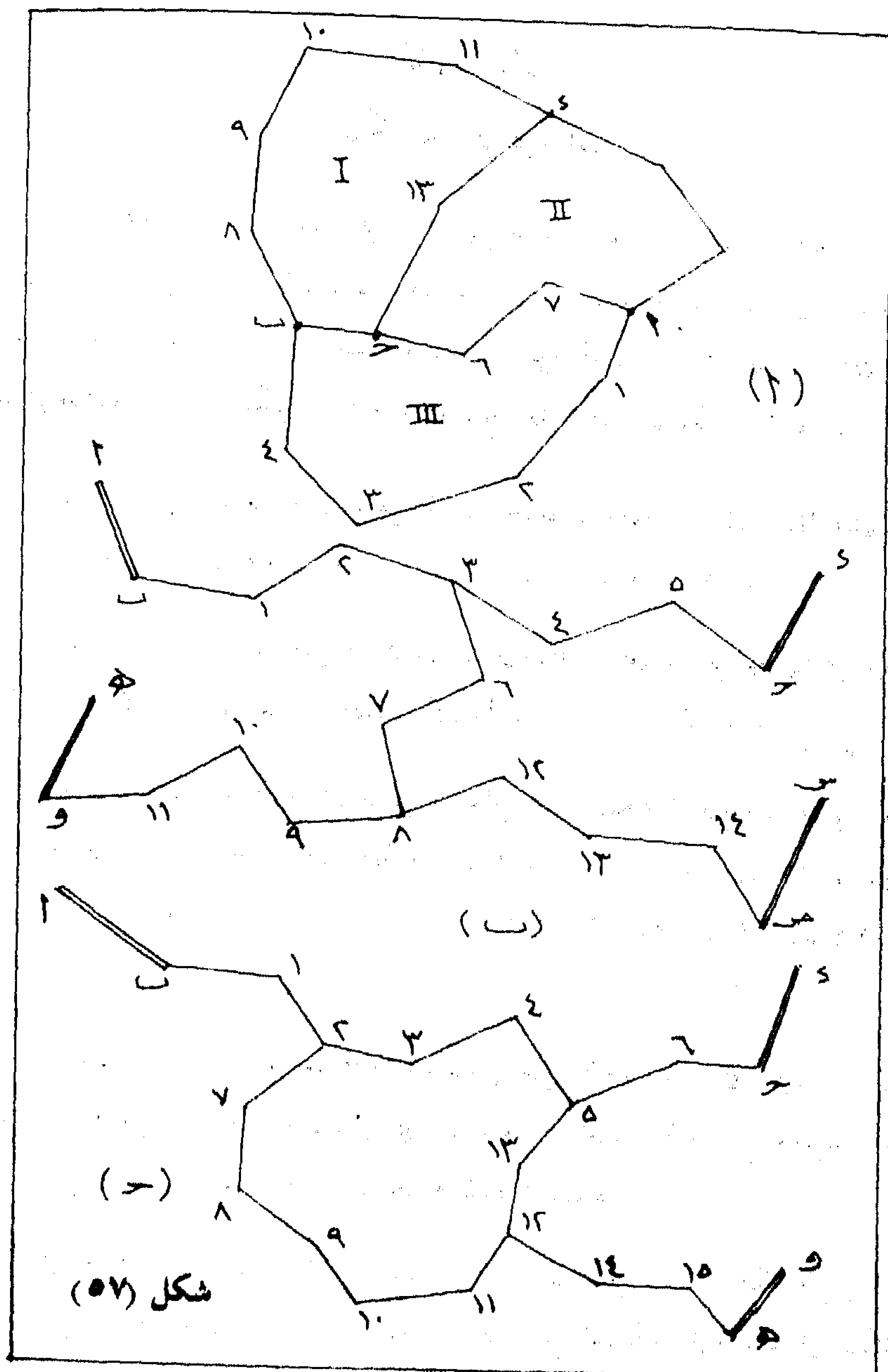
المثال الأول لشبكة مكونة من ثلاث حلقات مقفلة I ، II ، III مشتركة فى الأضلاع ء — ١٣ — حـ ، ا — ٧ — ٦ — حـ ، حـ ب .

والمثال الثانى لشبكة من الترافرسات الموصلة والمتصلة مع بعضها فى النقط ٣ ، ٨ والتى تربط على الخطوط الثابتة ا ب ، حـ ء ، هـ و ، ص س .

والمثال الثالث الموضح فى نفس الشكل يبين شبكة ترافرسات مكونة من مضلع مقفل يربط على ثلاث خطوط ثابتة ا ب ، حـ ء ، هـ و ، وذلك بواسطة الترافرسات الموصلة ٢ — ١ — ب ، ٥ — ٦ — حـ ، ١٢ — ١٤ — ١٥ — هـ .

وحسب ما درسنا سابقاً فإنه للحصول على الإحداثيات الصحيحة لجميع نقط الترافرس لابد من الحصول على الإتجاهات المصححة لجميع خطوط هذا الترافرس وكذلك المركبات المصححة لهذه الخطوط .

وفى حالة الترافرسات المركبة فإن عملية التصحيح تبدو للوهلة الأولى أنها صعبة ومعقدة وذلك لأنه إذا أردنا أن نصحح الشبكة الموضحة فى شكل (٥٧ — ا) فلابد أن نصحح كل من خطأ القفل للأفق عند نقطة حـ ثم خطأ القفل الزاوى للمضلعات I ، II ، III بحيث أن نتيجة التصحيح لزاوية مثل



شكل (٥٧)

١٣ فى المضلع I تكون هى نفس النتيجة للزاوية ١٣ أيضاً فى المضلع II ، وبالمثل لباقى الزوايا المشتركة فى أكثر من مضلع .

وبالمثل بالنسبة لمركبات الأضلاع لابد وأن نحصل على التصحيح فيها الذى يؤدى إلى الحصول على الإحداثيات الصحيحة والمحسوبة بأخذ أى مسار من المسارات المختلفة فى الشبكة .

ولو درسنا شبكة الترافرسات الموصلة الموضحة فى شكل (٥٧ ـــ ب) نجد أنه لتصحيح إنحرافات هذه الشبكة لدينا عدة مسارات مختلفة ومتداخلة مثل من (ا ب) إلى (ء حـ) أو إلى (و هـ) أو إلى (ص س) أو من (ء حـ) إلى (ا ب) أو (ص س) أو (و هـ) ... الخ ، الأمر الذى يمكن الحصول منه على أكثر من إنحراف للخط الواحد حسب المسار المتبع للتصحيح .

ولو طبقنا نفس الأسلوب على الشبكة الموضحة فى شكل (٦٧ ـــ حـ) نجد أننا سوف نقابل كل الظروف التى ذكرت سابقاً .

ويمكن التغلب على جميع العقبات الخاصة بتصحيح هذا النوع من الشبكات وضبطها بدقة بإستخدام معادلات نظرية الأخطاء مع معرفة المعادلات الشرطية فى كل حالة ، إلا أن من عيوب هذه الطريقة أنها مطولة جداً وصعبة التطبيق فى الشبكات المركبة الكبيرة إلا إذا استخدم الحاسب الآلى فى الضبط .

وهناك طرق أخرى دقيقة أيضاً وعملية وسهلة التطبيق وأهمها طريقة التصحيح المتتالى التى استنبطها ف . بوبوف والتى يمكن إستخدامها سواء للترافرسات المركبة المقفلة أو الموصلة .

وأحياناً تكون الشبكة بسيطة التركيب بحيث يمكن ضبطها بتقسيمها إلى مضلع مقفل يربط عليه مضلع أو أكثر موصل . وطريقة الضبط فى هذه الحالة تعتبر طريقة تقريبية إلا أن النتائج التى نحصل عليها تعتبر كافية خاصة إذا ما كانت الدقة المطلوبة غير كبيرة .

وفيما يلى سنورد طريقة الضبط التقريبية لشبكات الترافرسات البسيطة وطريقة التصحيح المتتالى الدقيقة لشبكات الترافرسات المركبة .

ضبط شبكات الترافرسات البسيطة

بالطريقة التقريبية

شكل (٨ب) يوضح كروكى لشبكة ترافرسات بسيطة تربط بين النقط ا ،ب ،حـ ،ى ،هـ ،و ، س . قيست أطوال أضلاع هذه الشبكة وكذلك الزوايا المحصورة بين هذه الأضلاع بتيودوليت دقته ١′ ووضحت الكميات المقاسة على الكروكى ، كذلك عين إنحراف الخط ا ب فكان مساوياً ٥٩ . وكانت إحداثيات نقطة ا هى :

س١ = + ٦٨٠,٩٩ متر ، ص١ = صفر

والمطلوب حساب الأحداثيات الصحيحة لجميع نقط الشبكة . ولإتمام هذا يمكن إعتبار أن الشبكة عبارة عن ترافرس مقفل ا ب حـ ى هـ و ا يربط عليه ترافرس موصل و س حـ يبدأ من نقطة و وينتهى عند نقطة حـ وخط الربط الأول له هو الضلع هـ و من الترافرس المقفل وخط الربط الأخير هو الضلع حـ ى من الترافرس الأول المقفل والخطوات التالية توضح طريقة الحساب :

١ ــ نبدأ أولاً بضبط الترافرس المقفل ا ب حـ ى هـ و ا فنحسب خطأ القفل الزاوى له . ومن جدول (١٣) نجد أن قيمة هذا الخطأ تساوى ــ ١′ وحيث أن المسموح به فى الترافرسات المقفلة هو ± ١,٥ و √هـ (أى ± ٣,٦′ فى حالتنا هذه) فإن هذا الخطأ يوزع على زوايا هذا المضلع وبأشارة مخالفة . ولما كانت الدقة المطلوبة فى نفس دقة القياس ــ أى دقيقة واحدة ــ لذا لا داعى لحساب كسور الدقيقة ويوزع خطأ القفل الزاوى على الزاوية ذات القيمة الصغيرة (جدول (١٣) أعطى التصحيح للزاوية المقاسة عندا) .

شكل (٥٨)

٢ ــ بمعلومية إنحراف الخط ا ب والزوايا المصححة عند كل نقطة (عمود ٤ فى جدول ١٣) تحسب الأنحرافات الدائرية للخطوط (عمود ٥) والإنحرافات المختصرة (عمود ٦) .

٣ ــ بمعلومية أطوال الأضلاع والأنحرافات المختصرة تحسب المركبات الأفقية والرأسية لأضلاع الترافرس (عمود ٨ ، ٩) .

٤ ــ تجمع المركبات الأفقية جبرياً وكذلك المركبات الرأسية فنحصل على مركبات خطأ القفل الضلعى ومن جدول (١٣) نجد أن :

جدول رقم (١٣) : ضبط الحلقة المقفلة الرئيسية

النقطة	الضلع	الزوايا المقاسة	الزوايا المصححة	الأنحرافات الدائرية	الأنحرافات المختصرة	طول الضلع (متر)	مركبة أفقية	مركبة رأسية	المركبات الرأسية		إحداثيات النقط	
									أفقية	رأسية	أفقية	رأسية
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣
ا		٢١ ٥٧°	٢١ ٥٨°								٦٨٠,٩٩+	٠٠,٠٠
	ا ب			٩٠ ٠٠°	ش ٠٠ ٩٠° ق	٦٤,٧٥	٦٤,٧٥+	٠٠,٠٠+	٦٤,٧٣+	٠,٠٣-		
ب		٢٠١ ٢٤	٢٠١ ٢٤								٧٤٥,٧٢+	٠٠,٠٣-
	ب حـ			٦٨ ٣٩	ش ٣٩ ٦٨ ق	١٨٥,٩٠	١٧٣,٠٩+	٦٧,٨٣+	١٧٣,٠٥+	٦٧,٧٦+		
حـ		٧٤ ٠٩	٣٤ ٠٩								٩١٨,٧٧+	٦٧,٧٣+
	حـ ء			١٧٤ ٢٧	حـ ٣٣ ٠٥ ق	٢٤٤,٢٠	٢٣,٦٢+	٢٤٣,٠٥-	٢٣,٥٦+	٢٤٣,١٥-		
ء		٣٥ ٢٩	٣٥ ٢٩								٩٤٢,٣٣+	١٧٥,٤٢-
	ء هـ			٢١٨ ٥٨	ش ٠٢ ٤١ غ	٩٤,٦٨	٦٢,١٦-	٧١,٤٢+	٦٢,١٨-	٧١,٣٨-		
هـ		١٩٣ ٣٠	١٩٣ ٣٠								٨٨٠,١٥+	١٠٤,٠٤-
	هـ و			٣٠٥ ٢٨	ش ٣٢ ٥٤ غ	٩٤,٦٨	٧٧,١٢-	٥٤,٩٣+	٧٧,١٤-	٥٤,٨٩+		
و		١٩٣ ٣٠	١٩٣ ٣٠								٨٠٣,٠١+	٤٩,١٥-
	و ا			٢٩١ ٥٨	ش ٠٢ ٦٨ غ	١٣١,٥٤	١٢١,٩٩-	٤٩,٢٠+	١٢٢,٢-	٤٩,١٥+		
ا											٦٨٠,٩٩+	٠٠,٠٠
Σ		٧١٩ ٥٩°	٧٢٠ ٠٠°			٨١٥,٧٥	٠,١٩-	٠,٣٣+	صفر	صفر		

$\triangle$ س = + ٠,١٩ متر

$\triangle$ ص = + ٠,٣٣ متر

وبذا يكون خطأ القفل $\triangle$ ل = $\sqrt{(٠,١٩)^٢ + (٠,٣٣)^٢}$ = ٠,٣٨ متر

ويكون الخطأ النسبى مساوياً $\frac{\triangle ل}{\sum ل} = \frac{٠,٣٨}{٨١٦} \doteqdot \frac{١}{٢١٥٠} < \frac{١}{٢٠٠٠}$

مسموحاً به

٥ ــ يوزع الخطأ على المركبات بأشارة مخالفة فنحصل على المركبات المصححة (عمود ١٠ ، ١١) .

٦ ــ بمعلومية إحداثيات نقطة ا ومركبات الأضلاع نحصل على الأحداثيات الصحيحة لنقط الترافرس المقفل ا ب حـ ء هـ وا (عمود ١٢ ، ١٣) .

٧ ــ والآن نعتبر الترافرس الموصل و س حـ الذى يبدأ من نقطة و المعلومة الأحداثيات ومن خط الربط الأول هـ و ذى الانحراف الصحيح وينتهى عند نقطة حـ المعلومة الأحداثيات أيضاً وعند خط الربط الأخير حـ ء ذى الإنحراف الصحيح أيضاً .

٨ ــ من المعادلة (٥٩) يتم حساب خطأ القفل الزاوى (أو بتسلسل حساب الانحرافات من الضلع هـ و حتى الضلع حـ ء) . ومن جدول (١٤) نجد أن مقدار خطأ القفل الزاوى يساوى ــ ١′ وهو مسموح به لأن المسموح به يساوى ± ٢و $\sqrt{ن}$ ووزع أيضاً على الزاوية القريبة من ١٨٠° (الزاوية عند س) والقيم المصححة للزوايا موضحة فى هذا الجدول فى عمود (٣) .

جدول رقم (١٤) : ضبط الحلقة الموصلة

النقطة	الزوايا المقاسة	الزوايا المصححة	الأنحرافات الدائرية	الأنحرافات المختصرة	طول الضلع متر	مركبة أفقية	مركبة رأسية	المركبات المصححة أفقية	المركبات المصححة رأسية	أحداثيات النقط أفقية	أحداثيات النقط رأسية
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
هـ											
			°٣٠٥ ٢٨								
و	°٨٠ ٤٧	°٨٠ ٤٧								+٨٠٣,٠١	−٤٩,١٥
			٤٤ ٤١	ش ٤٣ ٤٤° ق	١٠٠,٤٥	+٧٠,٦٤	+٧١,٤٢	−٧١,٧٠	+٧١,٤١		
س	١٧٩ ٥٧	١٧٩ ٥٨								+٨٧٣,٧١	+٢٢,٢٦
			٤٤ ٤٣	ش ٤١ ٤٤° ق	٦٤,٠٠	+٤٥,٠٣	+٤٥,٤٨	+٤٥,٠٦	+٤٥,٤٧		
حـ	٥٠ ١٦	٥٠ ١٦								+٩١٨,٧٧	+٦٧,٧٣
			١٧٤ ٢٧								
د											
					١٦٤,٤٥	+١١٥,٦٧	+١١٦,٩				

△ س = + ٨٠٣,٠١ + ١١٥,٦٧ − ٩١٨,٧٧ = − ٠,٠٩ متر

△ ص = − ٤٩,١٥ + ١١٦,٩ − ٦٧,٧٣ = + ٠,٠٢ متر

△ ل = $\sqrt{(٠,٠٩)^{٢} + (٠,٠٢)^{٢}}$ = ٠,٠٩٢ متر

٩ ــ تحسب أيضاً الأنحرافات الدائرية لخطوط لهذا الترافرس (عمود ٤) والإنحرافات المختصرة (عمود ٥) . كذلك المركبات الأفقية والرأسية للأضلاع (عمود ٧ ، ٨) وبمعلومية هذه المركبات وإحداثيات نقطتى الربط نوجد خطأ القفل الضلعى . ومن الجدول (١٤) نجد أن :

$\triangle$ س = ــ ٠,٠٩ متر ، $\triangle$ ص = + ٠,٠٢ متر

$\triangle$ ل = ٠,٠٩٢

والخطأ النسبى $= \frac{\triangle ل}{\sum ل} = \frac{٠,٠٩٢}{١٦٤,٤٥} = \frac{١}{١٧٨٨}$

١٠ ــ بأعتبار أن خطأ القفل النسبى مسموحاً به يوزع الخطأ على المركبات بأشارة مخالفة فنحصل على المركبات الصحيحة للضلعين و س ، س حـ ومن أى منهم وبمعلومية إحداثيات نقط الربط نحصل على إحداثيات نقطة س كما هو مبين بالجدول .

ملحوظة : كان من الممكن ضبط هذه الشبكة باعتبار الترافرس المقفل ا ب حـ س و ا ، والترافرس الموصل الذى يربط عليه هو حـ ء هـ و ــ أو باعتبار الترافرس المقفل و س حـ ء هـ و ، والترافرس الموصل الذى يربط عليه هو و ا ب حـ إلا أن الطريقة التى أتبعناها فى الحل تعطى نتائج أدق نظراً لقصر مسار الترافرس الموصل المأخوذ .

طريقة التصحيح المتتالى لضبط شبكات الترافرس
طريقة بوبوف

أولاً ـــ إذا كانت الشبكة مكونة من مجموعة من الترافرسات المقفلة :

فيما يلى سنبين خطوات الضبط بالأستعانة بمثال للشبكة المبينة فى شكل (٥٩ ا) والمكونة من ثلاث حلقات مقفلة :

١ ـــ يرسم كروكى للشبكة المطلوب تصحيحها ونبين عليه نقط الشبكة وقيم الزوايا المرصودة .

٢ ـــ نجرى عملية تصحيح للزوايا عند النقط التى يقفل فيها الأفق . وفى الشبكة الموضحة هى النقط ب ، ٧ ، ٨ (شكل ٥٩ ـــ ا) بحيث يكون مجموع الزوايا التى تقفل الأفق مساوياً ٣٦٠° ويجرى توزيع الخطأ بالتساوى على الزوايا عند كل من هذه النقط .

٣ ـــ يحسب خطأ القفل الزاوى فى كل مضلع مقفل فى الشبكة ويقارن بالمسموح به .

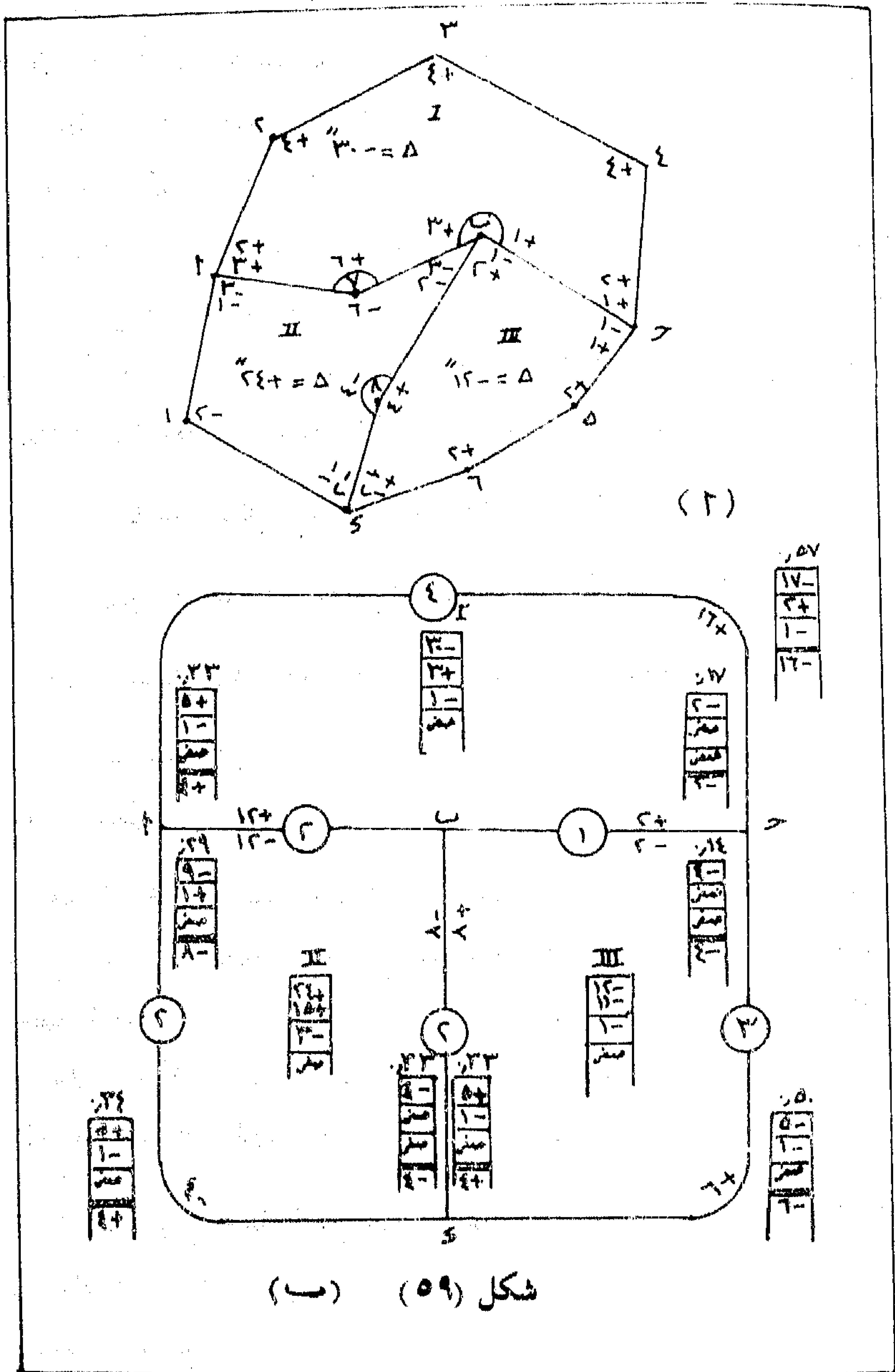
خطأ القفل المسموح به = ± ١,٥ و $\sqrt{ن}$

.... (٦١)

حيث :

و = دقة التيودوليت الذى أجريت به الأرصاد .

فإذا كان الخطأ مسموحاً به نجرى عملية التصحيح . أما إذا كان غير مسموح به فنبحث عن الزوايا التى نشك أن بها أخطاء ويعاد رصدها . وفى مثال شكل (٥٩ ـــ ا) حسب خطأ القفل الزاوى فى كل مضلع وكتب داخل المضلع بأشارته .


شكل (٥٩) (ب)

٤ ـــ لأجراء التصحيح نستعين بكروكى مبسط للشبكة على شكل مجموعة من المستطيلات المتجاورة عددها وترتيبها والحدود المشتركة هو نفس الموجود فى الشبكة الأصلية كما هو موضح فى شكل (٥٩ ـــ ب) فمثلاً الضلع ا ب فى شكل (٥٩ ـــ ب) يمثل الحد المشترك (ا ـــ ٧ ـــ ب) بين المضلعين I ، II فى شكل (٥٩ ـــ ا) . والضلع ب ء فى شكل (٥٩ ـــ ب) يمثل الحد المشترك (ب ـــ ٨ ـــ ء) بين المضلعين II ، III فى شكل (٥٩ ـــ ا) ويدون على كل حد من حدود المستطيلات عدد الأضلاع المكونة لهذا الحد فى الشبكة الأصلية . فنكتب مثلاً على الحد حـ ء الرقم ٣ دلالة على أنه هو عدد أضلاع هذا الحد فى الشبكة الأصلية . وهكذا بالنسبة لباقى الحدود .

٥ ـــ بالنسبة لكل مستطيل ممثل لحلقة يتم الآتى :

ا ـــ يدون داخله رقم المضلع الذى يمثله هذا المستطيل (I أو II أو ...) .

ب ـــ أسفل الرقم يعمل جدول لأخطاء هذا المضلع الواجب تصحيحها .

حـ ـــ يعمل على كل حد من الخارج جدول لتوزيع أخطاء المضلع الممثل بهذا المستطيل .

فمثلاً داخل المستطيل العلوى فى شكل (٥٩ ـــ ب) والممثل للمضلع I رسم جدول الأخطاء ، وخارج المستطيل رسمنا جدول توزيع الأخطاء على الحدود ا حـ ، ا ب ، ب حـ . وبالمثل للمستطيلين الممثلين للمضلعين II ، III مع ملاحظة أن الحدود المشتركة لها جدولى توزيع فى الجهتين المتضادتين من الحد فى حين أن الحدود غير المشتركة لها جدول واحد فقط .

٦ ـــ يوزع خطأ القفل الزاوى على كل حد من حدود المضلع المقفل (سواء أكان حداً مشتركاً أو غير مشترك مع مضلع آخر) وذلك حسب معاملات توزيع .

$$\text{معامل التوزيع (ك) لأى حد} = \frac{\text{عدد أضلاع الحد}}{\text{عدد أضلاع المضلع المقفل الكلية}} = \frac{ن_ح}{ن}$$

.... (٦٢)

وتدون معاملات التوزيع على الجداول الخاصة بكل حد فى هذا المضلع المقفل ويجب حساب معاملات التوزيع مقربة فى ثانى رقم عشرى ، ففى المثال فى المضلع I .

$$ك_{اح} = \frac{٤}{٤ + ٢ + ١} = ٫٥٧$$

$$ك_{اب} = \frac{٢}{٤ + ٢ + ١} = ٠٫٢٩$$

$$ك_{بح} = \frac{١}{٤ + ٢ + ١} = ٠٫١٤$$

وللتحقيق يجب أن يكون مجموع معاملات التوزيع للمضلع الواحد مساوياً لواحد الصحيح .

٧ ـــ تكتب قيم خطأ القفل فى كل مضلع باشارتها داخل جدول الخطأ وتبدأ التوزيع من المضلع الذى يكون فيه خطأ القفل أكبر ما يمكن . وفى المثال بدأنا بالمضلع I الذى فيه خطأ القفل = − ٣٠″ . توزع قيمة هذا الخطأ على الحدود اح ، حب ، ب ا حسب النسب المحسوبة والمدونة أعلى جداول التوزيع الخاصة بهذه الحدود وعلى هذا كان نصيب الحد اح هو (− ١٧″) والحد حب هو (− ٤″) والحد ب ا هو (− ٩″) .

فى المضلع الذى يليه فى الترتيب وهو II نجد أن خطأ القفل + ٢٤″ ولكن أضيف إليه من المضلع I خطأ قدره (− ٩″) وبالتالى فإن مجموع خطأ

القفل لهذا المضلع أصبح + ١٥″ يوزع على الحدود ا ب ، ب ى ، ى ا حسب معاملات التوزيع لكل منها ، فيكون نصيب الأول هو + ٥″ والثانى + ٥″ والثالث + ٥″ .

٨ ــ فى المضلع الثالث III خطأ القفل فيه هو − ١٢″ . ولكن أضيف إليه من I (− ٤″) ومن II (٥″) وبالتالى يصبح خطأ القفل فيه (− ١١″) توزع على الحدود ب حـ ، حـ ى ، ى ب فنصيب الأول (− ٢″) والثانى (− ٥″) والثالث (− ٤″) (مع ملاحظة أننا أهملنا كسور الثانية فى التوزيع مع الاحتفاظ بأن مجموع التوزيعات يساوى مقدار الخطأ الضلعى) . وبذا يتم توزيع خطأ القفل الأصلى .

٩ ــ إلا أننا نلاحظ أن المضلع الأول أضيف إليه من المضلع الثانى والثالث خطأ جديد قدره (+ ٥″) ، (− ٢″) أى بمقدار (+ ٣″) لهذا نبدأ بدورة جديدة من التوزيع تبدأ من هذا المضلع وبنفس الترتيب السابق . وتكرر دورات التوزيع لتصبح قيمة الخطأ فى أى مضلع مساوية للصفر . وفى المثال حصلنا على هذه النتيجة فى الدورة الثالثة للتصحيح .

١٠ ــ نحسب بعد ذلك لكل جدول توزيع المجموع الجبرى لقيم التوزيع به .

١١ ــ قيم التصحيح لزوايا كل حد نحصل عليها كالآتى :

ا ــ بالنسبة للحدود غير المشتركة فى الشبكة يكون التصحيح لزوايا هذا الحد مساوياً قيمة المجموع الجبرى للتصحيحات فى جدول التوزيع الخاص بهذا الحد باشارة مخالفة فمثلاً بالنسبة للحد ا حـ التصحيح لزواياه مساوياً + ١٦″ توزع بالتساوى على الأربعة اتجاهات لهذا الحد بمعنى أن يأخذ كل من الزوايا ٢ ، ٣ ، ٤ (+ ٤″) ويعطى نصف للتصحيح (٢″) للزاوية عند ا والنصف الآخر للزاوية عند حـ . بالمثل للحد حـ ى والحد ى ا .

ب ـ بالنسبة للحدود المشتركة يكون التصحيح للحد فى أحد المضلعات مساوياً لمجموع التصحيحات فى جدول التوزيع داخل المضلع لهذا الحد مطروحاً منها مجموع التصحيحات فى جدول التوزيع خارج المضلع لنفس الحد ، فمثلاً للحد ا ب فى المضلع ا حـ ب ا التصحيح مساوياً + ٤ − (− ٨) = + ١٢″ ولنفس الحد فى المضلع ا ب ء ا التصحيح مساوياً − ٨ − (+ ٤) = − ١٢″ . وهذا هو ما كنا نسعى إليه أى الحصول على قيم تصحيح فى الزوايا المشتركة متساوية . ويوزع التصحيح بالتساوى أيضاً على انحرافات الأضلاع أى + ٦″ للزاوية ٧ فى المضلع ا ب حـ ا ، + ٣″ لكل من الزوايا عند ب ، ا فى نفس المضلع . وبالمثل للحد ب ء ، والحد ب حـ .

وفى شكل (٥٩ ـ ا) موضح قيم التصحيح للزوايا عند نقط الشبكة المختلفة . ونلاحظ أن التصحيح النهائى لزوايا الشبكة لم يؤثر على قفل الأفق عند أى نقطة فيها فمثلاً عند نقطة ب المجموع الجبرى للتصحيح للزوايا مساوياً الصفر .

١٢ ـ المجموع الجبرى لقيم التصحيح فى الزوايا لكل مضلع مقفل على حدة يجب أن يساوى قيمة خطأ القفل لهذا المضلع وبإشارة مخالفة .

١٣ ـ بعد الحصول على الزوايا المصححة فى الشبكة تحسب الانحرافات الدائرية لكل ضلع وذلك بمعرفة انحراف أحد الأضلاع ، ثم وبمعرفة طول كل ضلع فى الشبكة تحسب مركبات جميع الأضلاع ثم تحسب مركبات خطأ القفل △ س ، △ ص لكل مضلع مقفل فى الشبكة كما هو متبع فى الترافرسات المقفلة .

١٤ ـ لتصحيح خطأ القفل للشبكة نستعين بكروكى آخر لها (شكل ٦٠) ويوضح عليها أيضاً نقط الشبكة ومجموع أطوال أضلاع كل حد فيها بمئات الأمتار وداخل كل مضلع مقفل نرسم جدول مكون من عمودين الأول

شكل (٦٠)

للمركبة الأفقية لخطأ القفل فى المضلع ($\triangle$ س) والثانية للمركبة الرأسية ($\triangle$ ص) بالسنتيمتر وخارج كل مضلع مقفل وعلى حدوده ترسم جداول التوزيع بنفس الطريقة التى أتبعت فى شكل (٥٩ ــ ب)، وتحسب معاملات التوزيع لكل جدول توزيع على أساس أن الخطأ يوزع على كل حد بنسبة طول هذا الحد ل$_1$ إلى مجموع أطوال المضلع المقفل Σ ل (توزيع الخطأ يتم على أساس طريقة بودتش) أى أن :

$$ك = \frac{ل ه}{\Sigma ل} .$$

فمثلاً فى المضلع I إذا كان مجموع أطوال الحدا حـ هو ١٤٠٠ متر (كتب ١٤ على الحد) والحد حـ ب ٣٠٠ متر، والحد ب ا ٤٠٠ متر فإن نسب التوزيع تكون لهذا المضلع هى :

$$ك_{ا حـ} = \frac{١٤}{٢١} = ٠,٦٧ ،$$

$$ك_{حـ ب} = \frac{٣}{٢١} = ٠,١٤ ،$$

$$ك_{ب ا} = \frac{٤}{٢١} = ٠,١٩$$

ونلاحظ هنا أن مجموع معاملات التوزيع لابد أن تساوى الواحد الصحيح وبالمثل نوجد معاملات التوزيع لكل من المضلعين II ، III .

١٥ ــ يبدأ التصحيح فى المضلع الذى فيه أكبر خطأ قفل وهو المضلع I فنوزع خطأ القفل ($\triangle$ س)، ($\triangle$ ص) على حدود هذا المضلع المقفل بنسب التوزيع المحسوبة له كما هو موضح شكل (٦٠) فنجد أن نصيب المضلع II من هذا التصحيح هو + ٤ ، − ٣ سنتيمتر وبذا يكون مجموع خطأ القفل

فى المضلع II هو – ٢٣ ، – ١٣ سنتيمتر ، وبالمثل نوجد التصحيح فى هذا المضلع ثم نكرر العمل للمضلع II .

١٦ ــ نبدأ دورة تصحيح جديدة بدءاً بالمضلع I مع ملاحظة أن خطأ القفل فى هذه الدورة هو المجموع الجبرى للتوزيع من المضلعين II ، III الذى حصلنا عليه من الدورة السابقة للتوزيع .

١٧ ــ نستمر فى التوزيع حتى يتلاشى خطأ القفل (فى شكل ٦٠ أكتفينا بثلاث دورات توزيع وكان يمكن الإستمرار حتى يصبح الخطأ مساوياً الصفر) ومن ثم نوجد المجموع الجبرى للتوزيعات ثم نحسب تصحيح المركبات لكل حد بنفس القاعدة التى اتبعت فى إيجاد تصحيح الزوايا للحد الواحد أى أن :

التصحيح △ س لأى حد فى مضلع ما = △ س من جدول التصحيح داخل هذا الحد ــ △ س من جدول التصحيح خارج هذا الحد .

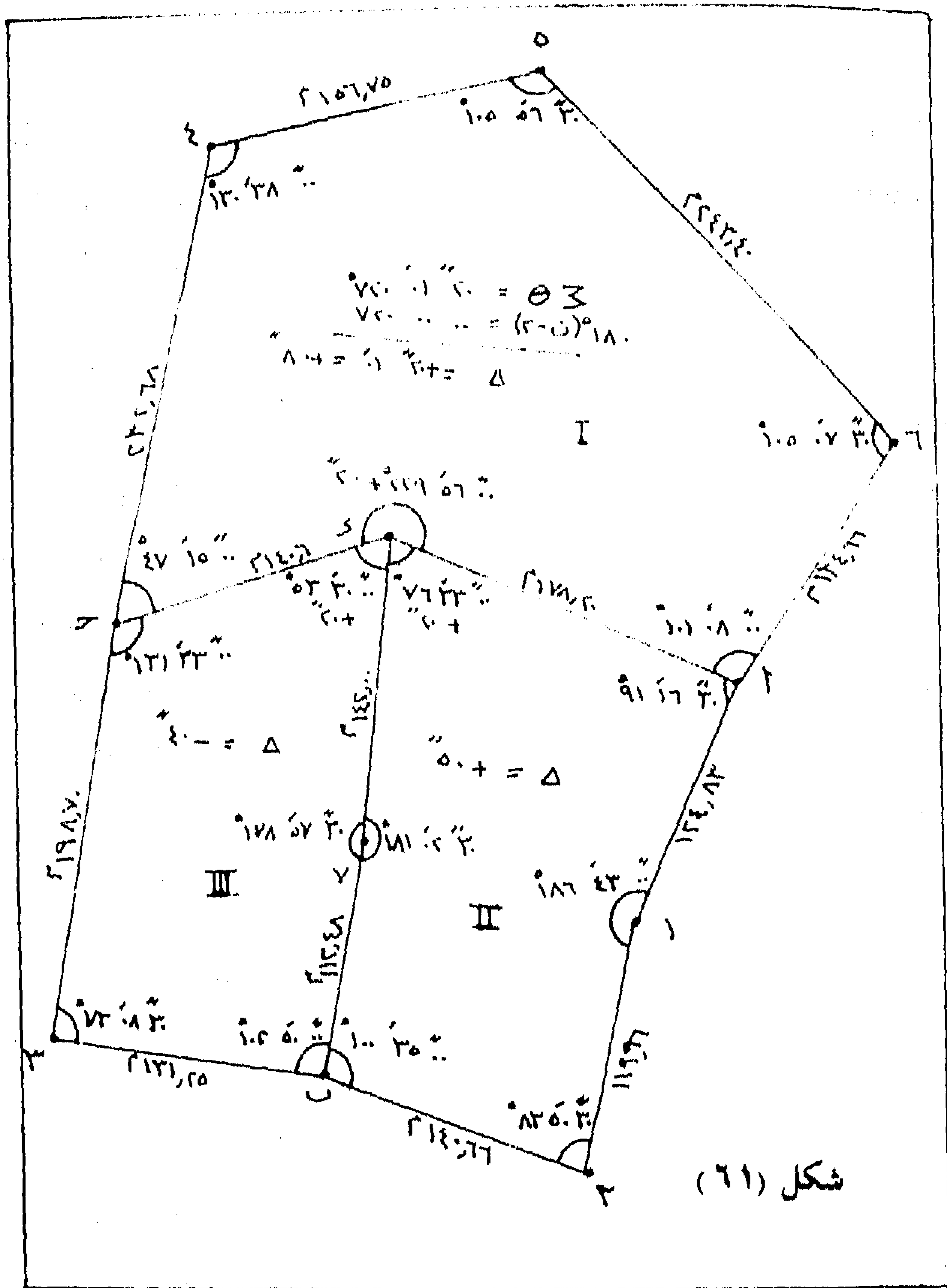
فمثلاً للحد ا ب فى المضلع I △ س = – ٤ – (+ ٣) = – ٧
△ ص = – ٣ – (– ٣) = صفر
وللحد ا ب فى المضلع II △ س = + ٣ – (– ٤) = + ٧
△ ص = – ٣ – (– ٣) = صفر

ويجب أن يكون المجموع الجبرى للتصحيحات (△ س) فى المضلع الواحد يساوى مقدار الخطأ الأصلى فى هذا المضلع بإشارة مخالفة .

١٨ ــ بعد الحصول على التصحيحات فى كل حد نوزع التصحيح لكل حد على أضلاعه بنسبة طول الضلع الواحد إلى مجموع أضلاع هذا الحد .

مثـــال :

المطلوب حساب الاحداثيات الصحيحة لنقط الشبكة الموضحة فى شكل (٦١) إذا علم أن إحداثيات نقطة ا هى (+ ١٠٠٠ ، + ١٠٠٠) وأن



شكل (٦١)

إنحراف الضلع ب ـــ ٣ هو ٣٠ً ٥٢٦٧ . إذا علم أن قياس الزوايا تم بتيودوليت دقته ٣٠″ وأن دقة الحساب المطلوبة ١″ لتصحيحات الحدود ، ٠,٠١″ لتصحيحات الزوايا

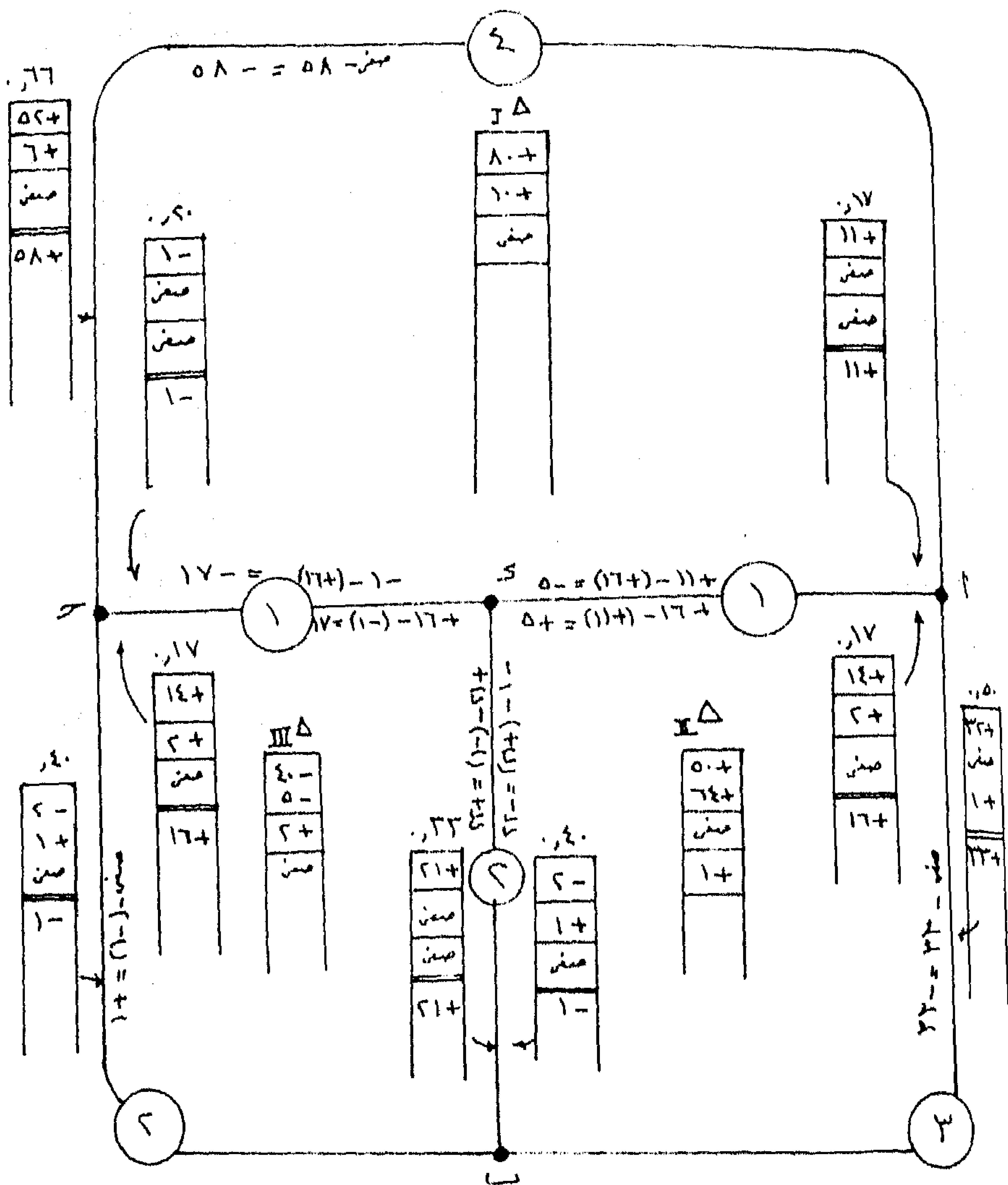
الحــــل :

١ ـــ نبدأ فى تصحيح خطأ قفل الأفق للنقط المشتركة فى الشبكة وهى نقطتى ء ، نقطة ٧ فنجد أن خطأ القفل عند ٧ يساوى صفر ، عند ء = − ١′ يوزع على الثلاثة زوايا المحصورة عندها وبالتساوى وبأشارة مخالفة وبذا يكون التصحيح لكل زاوية + ٢٠″ كما هو موضح بالشكل .

٢ ـــ بعد تصحيح قفل الأفق عند النقط التى يتحقق فيها ذلك فى الشبكة يتم حساب خطأ القفل الزاوى فى كل حلقة مقفلة على حدة وذلك بمقارنة مجموع الزوايا المقاسة والمصححة لقفل الأفق مع المجموع النظرى لكل حلقة . ففى الحلقةا ـــء ـــحـ ـــ ٤ ـــ ٥ ـــ ٦ ـــا خطأ القفل الزاوى مقداره + ٨٠″ فى حين أن المسموح به = ١,٥ × ٣٠″ √٦ = ١١٠″ وعلى ذلك يتم توزيعه . وفى الحلقةا ـــ ١ ـــ ٢ ـــب ـــ ٧ ـــء ـــا خطأ القفل الزاوى + ٥٠″ والمسموح به ١,٥ × ٣٠″ √٦ = ١١٠″ أى مسموح به أيضاً ، فى حين فى الحلقةب ـــ ٣ ـــحـ ـــء ـــ ٧ ـــب كان خطأ القفل الزاوى − ٤٠″ والمسموح به ١,٥ × ٣٠″ √٥ = ١٠٠″ .

٣ ـــ تم تسمية الحلقة ذات الخطأ الأكبر عددياً (I) والحلقة ذات الخطأ الأصغر مباشرة (II) والحلقة الأخيرة (III) .

٤ ـــ لأجراء التصحيح لزوايا الحدود رسم كروكى مطابق للشبكة (شكل ٦٢) ونظمت فيه جداول الأخطاء وجداول توزيع الأخطاء وحسبت معاملات التوزيع على كل جدول ثم بدء فى توزيع الأخطاء من المضلع ذو الخطأ الأكبر عددياً فالأقل فالأقل واستمر فى توزيع الأخطاء إلى أن تلاشت ثم حسبت مجاميع قيم التوزيعات فى الجداول وحسبت التصحيحات لكل حد ووضحت على الحدود فى شكل (٦٢) ، وكتحقيق للعمل الحسابى يحسب مجموع التصحيحات على الحدود لكل حلقة مقفلة فيجب أن يكون مساوياً مجموع الأخطاء بأشارة مخالفة . وبتطبيق ذلك :



تصحيحات الحدود لأقرب ثانية

شكل (٦٢)

في الحلقة ا ــ ء ــ حـ ــ ا :

ــ ٥٨ ــ ١٧ ــ ٥ = ــ ٨٠

في الحلقة ا ــ ب ــ ء ــ ا :

+ ٥ ــ ٣٣ ــ ٢٢ = ــ ٥٠

فى الحلقة ب ــ حـ ــ ء ــ ب :

+ ٢٢ + ١ + ١٧ = + ٤٠

٥ ــ فى شكل (٦٣) تم حساب التصحيحات لكل زاوية من زوايا الشبكة .

٦ ــ لأجراء التصحيح لخطأ القفل الضلعى يتم اضافة التصحيحات الزاوية لكل زاوية من زوايا الشبكة . ولكل حلقة يتم حساب مركبات خطأ القفل الضلعى فيها . وفى جدول (١٥) مبين أطوال الأضلاع وقيم الزوايا المصححة والأنحرافات الدائرية والمختصرة لكل ضلع ومقدار المركبات الأفقية والرأسية المحسوبة لكل ضلع ومقدار مركبات خطأ القفل الضلعى فى كل حلقة . وقد تم حساب مقدار خطأ القفل الضلعى فى كل حلقة ، ويلاحظ من الجدول أن الأخطاء فى الحلقات الثلاثة أقل من ١ : ٢٠٠٠ أى مسموحاً بها .

شكل (٦٣)

تصحيحات الزوايا لأقرب ٠,١"

جدول (١٥) حساب مركبات خطأ القفل الضلعي في الحلقات

النقطة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول (متر)	انحراف دائرى	انحراف مختصر	مركبة أفقية (متر)	مركبة رأسية (متر)
ب	°١٠٢ ٥٠ ٠٥,٧٥						
		ب — ٣	١٣١,٢٥	°٢٦٧ ٣٠ ٠٠,٠٠	غ °٨٧ ٣٠ ٠٠ ح	١٣١,١٣ −	٥,٧٣
٣	٧٣ ٠٨ ٣٠,٥٠						
		٣ — حـ	١٩٨,٧٠	١٤ ٢١ ٢٩,٥	ق ١٤ ٢١ ٢٩,٥٠ ش	٤٩,٢٧ +	١٥٢,٤٩ +
حـ	١٣١ ٣٣ ٠٨,٧٥						
		حـ — د	١٤٠,٦٠	٦٢ ٤٨ ٢٠,٧٥	ق ٦٢ ٤٨ ٢٠,٧٥ ش	١٢٥,٠٦ +	٦٤,٢٦ +
د	٥٣ ٣٠ ٣٤,٠٠						
		د — ٧	١٤٢,٠٠	١٨٩ ١٧ ٤٦,٧٥	ع ٩ ١٧ ٤٦,٧٥ ح	٢٢,٩٤ −	١٤٠,١٣ −
٧	١٧٨ ٥٧ ٤١,٠٠						
		٧ — ب	١١٢,٤٨	١٩٠ ٢٠ ٠٥,٧٥	ع ١٠ ٢٠ ٠٥,٧٥ ح	٢٠,[illegible] −	١١٠,٦٦ −
ب							
Σ	٥٥٤٠ ٠٠ ٠٠,٠٠		٧٢٥,٠٣	$\triangle$ ل = $\sqrt{(٠,٠٨)^2 + (٠,٢٣)^2}$ = ٠,٢٤ $\frac{\triangle ل}{\Sigma ل} = \frac{٠,٢٤}{٧٢٥}$ = ١ : ٢٩٧٧		٠,٠٨ +	٠,٢٣ −

تابع جدول (١٥)

النقطة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول (متر)	انحراف دائرى	انحراف مختصر	مركبة أفقية (متر)	مركبة رأسية (متر)
د	٢٢٩° ٥٦ ٠٩,٠٠						
		د ـ ح	١٤٠,٦٠	٢٤٢° ٤٨ ٢٠,٧٥	ح ٦٢° ٤٨ ٢٠,٧٥ غ	− ١٢٥,٠٦	− ٦٤,٢٦
ح	٤٧ ١٤ ٤٤,٢٥						
		ح ـ ٤	٢٣٢,٦٨	١٥ ٣٣ ٣٦,٥	ش ١٥ ٣٣ ٣٦,٥ ق	+ ٦٢,٤٢	+ ٢٢٤,١٥
٤	١٣٠ ٣٧ ٤٥,٥٠						
		٤ ـ ٥	١٥٦,٧٥	٦٤ ٥٥ ٥١,٠٠	ش ٦٤ ٥٥ ٥١,٠٠ ق	+ ١٤١,٩٨	+ ٦٦,٤٢
٥	١٠٥ ٥٦ ١٥,٥٠						
		٥ ـ ٦	٢٤٣,٤٠	١٣٨ ٥٩ ٣٥,٥٠	ح ٤١ ٠٠ ٢٤,٥ ق	+ ١٥٩,٧١	− ١٨٣,٦٨
٦	١٠٥ ٠٧ ١٥,٥٠						
		٦ ـ ا	١٣٤,٦٦	٢١٣ ٥٢ ٢٠,٠٠	ح ٣٣ ٥٢ ٢٠,٠٠ غ	− ٧٥,٠٥	− ١١١,٨١
ا	١٠١ ٠٧ ٥٠,٢٥						
		ا ـ د	١٧٨,٢٠	٢٩٢ ٤٤ ٢٩,٧٥	ش ٧٨ ١٥ ٣٠,٢٥ غ	− ١٦٤,٣٥	+ ٦٨,٨٩
د							
Σ	٧٢٠ ٠٠ ٠٠		١٠٨٦,٠٩	$\triangle ل = \sqrt{(٠,٣٥)^2 + (٠,٢٩)^2} = ٠,٤٥$ $\frac{\triangle ل}{\Sigma ل} = ١ : ٢٣٩٠$		− ٠,٣٥	− ٠,٢٩

تابع جدول (١٥)

النقطة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول (متر)	انحراف دائرى	انحراف مختصر	مركبة أفقية (متر)	مركبة رأسية (متر)
ء	٥٧٦ ٣٣ ١٧,٠٠						
		ء ـ ا	١٧٨,٢٠	١١٢ ٤٤ ٢٩,٧٥	ح ٣٠,٢٥ ١٥ ٦٧° ش	١٦٤,٣٥ +	٦٨,٨٩ -
ا	٩١ ١٦ ٢٧,٠٠						
		ا ـ ١	١٢٤,٨٣	٢٠١ ٢٨ ٠٢,٧٥	ح ٠٢,٧٥ ٢٨ ٢١ غ	٤٥,٦٨ -	١١٦,١٧
١	١٨٦ ٤٢ ٤٩,٠٠						
		١ ـ ٢	١١٩,٩٦	١٩٤ ٤٥ ١٧,٧٥	ح ١٣,٧٥ ٤٥ ١٤ غ	٣٠,٥٥ -	١١٦,٠٠ -
٢	٨٣ ٥٠ ١٩,٠٠						
		٢ ـ ب	١٤٠,٦٦	٢٩٠ ٥٤ ٥٤,٧٥	ش ٠٥,٢٥ ٠٥ ٦٩ غ	١٣١,٣٩ -	٥٠,٢١ +
ب	١٠٠ ٣٤ ٤٩,٠٠						
		ب ـ ٧	١١٢,٤٨	١٠ ٢٠ ٠٥,٧٥	ش ٠٥,٧٥ ٢٠ ١٠ ق	٢٠,١٨ +	١١٠,٦٦ +
٧	١٨١ ٠٢ ١٩,٠٠						
		٧ ـ ء	١٤٢,٠٠	٩ ١٧ ٤٦,٧٥	ش ٤٦,٧٥ ١٧ ٩ ق	٢٢,٩٤ +	١٤٠,١٣ +
ء							
Σ	٧٢٠ ٠٠ ٠٠		٨١٨,١٣	$\triangle ل = \sqrt{(٠,١٥)^2 + (٠,٠٦)^2} = ٠,١٦$; $\frac{\triangle ل}{\Sigma ل} = ١ : ٥٠٦٤$		٠,١٥ -	٠,٠٦ -

٧ ــ لأجراء التصحيح للمركبات لأضلاع الشبكة تم الأستعانة بالكروكى الموضح فى شكل (٦٤) حيث بينت على حدود كل مضلع ــ وداخل دائرة ــ مجموع أطوال أضلاع كل حد لأقرب متر ، وتم انشاء جداول مركبات الخطأ داخل كل مضلع وجداول التوزيع على الحدود ، وحسبت معاملات التوزيع فى هذه المرة كنسبة مجموع أطوال أضلاع الحد إلى مجموع أطوال أضلاع الحلقة التى تحتوى هذا الحد . فعلى سبيل المثال معامل التوزيع للحد ى حـ فى الحلقة ى ب حـ يساوى :

$$\frac{١٤١}{١٤١ + ٢٥٤ + ٣٣٠} = ٠,١٩$$

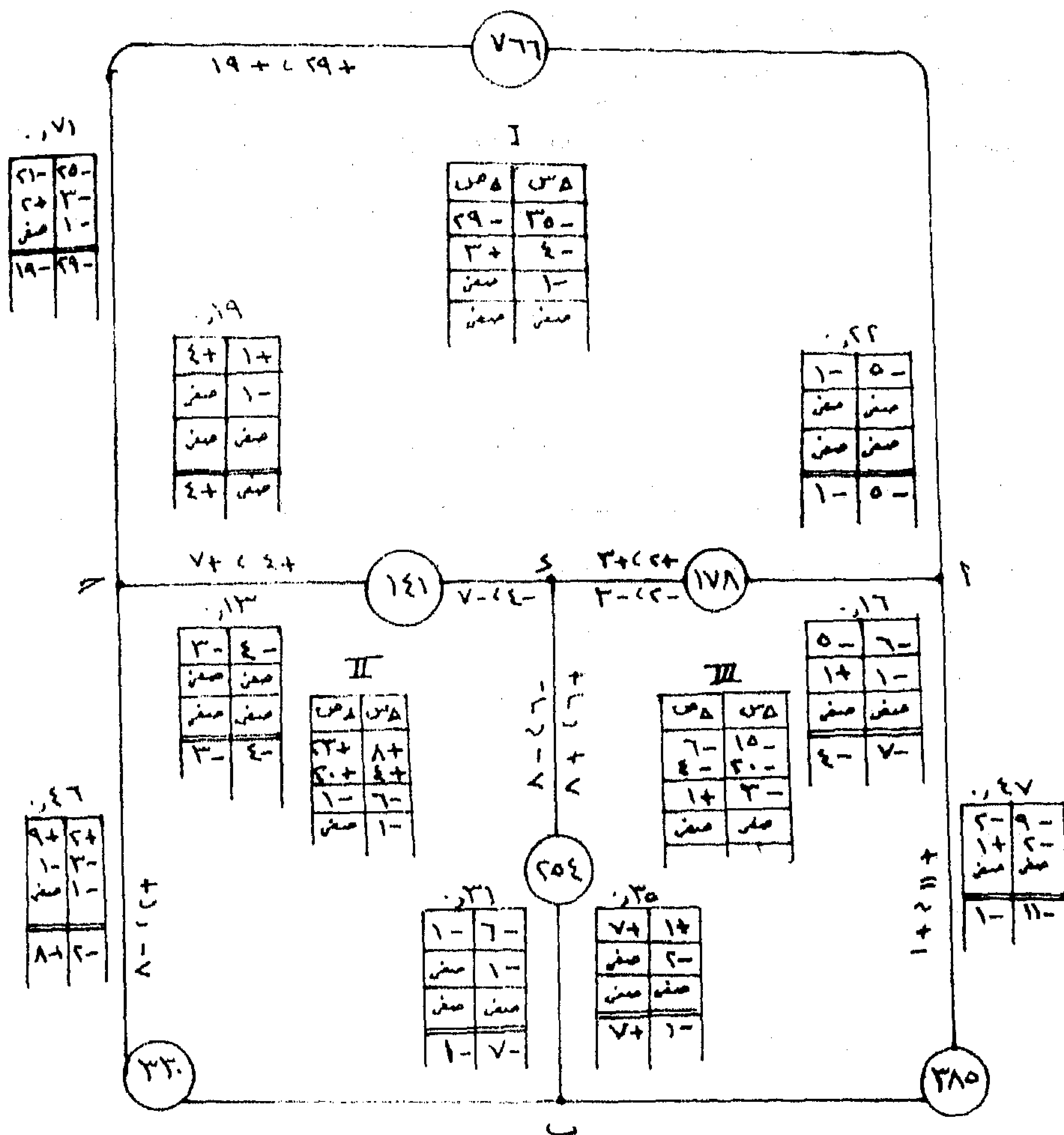
وبين على الجدول المنشأ على هذا الحد وخارج الحلقة . ويلاحظ أننا عدّلنا تسمية المضلعات لكي تتمشى مع المضلع ذات الخطأ الأكبر فالأقل فالأقل وبذا يتم التصحيح بدءاً من الحلقة ا ى حـ ا (I) ثم الحلقة ى ب حـ ى (II) ثم الحلقة ا ب ى ا (III) . ولقد تم توزيع الخطأ بالتتالى إلى أن تلاشى . وبينت على كل حد مقادير التصحيحات المحسوبة من واقع جداول التوزيع لمركبات أضلاع هذا الحد .

٨ ــ تحسب التصحيحات لمركبات الأضلاع من واقع التصحيحات الناتجة لمركبات أضلاع كل حد وذلك كنسبة لطول هذا الضلع إلى مجموع أطوال الأضلاع فى هذا الحد . فعلى سبيل المثال :

التصحيح للمركبة الأفقية للضلع ٦ –ا = + ٢٩ × $\frac{١٣٤,٦٦}{٧٦٦}$ =+٥,١سم

٩ ــ فى جدول (١٦) تم حساب التصحيحات فى المركبات الأفقية والرأسية للأضلاع من واقع النتائج المبينة فى شكل (٦٤) ومن ثم تم حساب المركبات الأفقية المصححة والمركبات الرأسية المصححة للأضلاع ثم الأحداثيات المصححة للنقط المختلفة بمعلومية أحداثيات نقطة (ا) . ويلاحظ

من الجدول أننا نحصل على نفس النتائج للأحداثيات المحسوبة للنقط المشتركة فى حلقات الشبكة مهما تغير مسار الحساب .



شكل (٦٤) تصحيح الخطأ الضلعى

جدول (١٦) حساب المركبات المصححة للأضلاع
والأحداثيات الصحيحة للنقط

النقطة	الضلع	مركبة أفقية	مركبة رأسية	التصحيح فى المركبة الأفقية	التصحيح فى المركبة الرأسية	مركبة أفقية مصححة	مركبة رأسية مصححة	أحداثيات النقط	
								س	ص
ا								+١٠٠٠,٠٠٠	+١٠٠٠,٠٠٠
	ا د	-١٦٤,٣٥٠	+٦٨,٨٩٠	+٠,٠٢٠	+٠,٠٣٠	-١٦٤,٣٣٠	-٦٨,٩٢٠		
د								+٨٣٥,٦٧٠	-١٠٦٨,٩٢٠
	د حـ	-١٢٥,٠٦٠	-٦٤,٢٦٠	+٠,٠٤٠	+٠,٠٧٠	-١٢٥,٠٢٠	-٦٤,١٩٠		
حـ								+٧١٠,٦٥٠	+١٠٠٤,٧٣٠
	حـ ــ ٤	+٦٢,٤٢٠	+٢٢٤,١٥٠	+٠,٠٨٨	+٠,٠٥٨	+٦٢,٥٠٨	+٢٢٤,٢٠٨		
٤								+٧٧٣,١٥٨	١٢٢٨,٩٣٨
	٤ ــ ٥	+١٤١,٩٨٠	+٦٦,٤٢٠	+٠,٠٥٩	+٠,٠٣٩	+١٤٢,٠٣٩	+٦٦,٤٥٩		
٥								+٩١٥,١٩٧	+١٢٩٥,٣٩٧
	٥ ــ ٦	+١٥٩,٧١٠	-١٨٣,٦٨	+٠,٠٩٢	+٠,٠٦٠	+١٥٩,٨٠٢	-١٨٣,٦٢٠		
٦								+١٠٧٤,٩٩٩	+١١١١,٧٧٧
	٦ ــ ا	-٧٥,٠٥٠	-١١١,٨١٠	+٠,٠٥١	+٠,٠٣٣	-٧٤,٩٩٩	-١١١,٧٧٧		
ا								+١٠٠٠,٠٠٠	+١٠٠٠,٠٠٠
	Σ	-٠,٣٥٠	-٠,٢٩٠	+٠,٣٥٠	+٠,٢٩	صفر	صفر		

تابع جدول (١٦)

النقطة	الضلع	مركبة أفقية	مركبة رأسية	التصحيح فى المركبة الأفقية	التصحيح فى المركبة الرأسية	مركبة أفقية مصححة	مركبة رأسية مصححة	أحداثيات النقط س	ص
د								+٨٣٥,٦٧٠	+١٠٦٨,٩٢٠
	د ا	+١٦٤,٣٥٠	−٦٨,٨٩٠	−٠,٠٢٠	−٠,٠٣٠	+١٦٤,٣٣٠	−٦٨,٩٢		
ا								+١٠٠٠,٠٠٠	+١٠٠٠,٠٠٠
	ا — ١	−٤٥,٦٨٠	−١١٦,١٧٠	+٠,٠٣٦	+٠,٠٠٣	−٤٥,٦٤٤	−١١٦,١٦٧		
١								+٩٥٤,٣٥٦	+٨٨٣,٨٣٣
	١ — ٢	−٣٠,٥٥٠	−١١٦,٠٠٠	+٠,٠٣٤	+٠,٠٠٣	−٣٠,٥١٦	−١١٥,٩٩٧		
٢								+٩٢٣,٨٤٠	+٧٦٧,٨٣٦
	٢ — ب	−١٣١,٣٩٠	+٥٠,٢١٠	+٠,٠٤٠	+٠,٠٠٤	−١٣١,٣٥	+٥٠,٢١٤		
ب								+٧٩٢,٤٩٠	+٨١٨,٠٥٠
	ب — ٧	+٢٠,١٨٠	+١١٠,٦٦٠	+٠,٠٢٧	+٠,٠٣٥	+٢٠,٢٠٧	+١١٠,٦٩٥		
٧								+٨١٢,٦٩٧	+٩٢٨,٧٤٥
	٧ — د	−٢٢,٩٤٠	+١٤٠,١٣٠	+٠,٠٣٣	+٠,٠٤٥	+٢٢,٩٧٣	+١٤٠,١٧٥		
د								+٨٣٥,٦٧٠	+١٠٦٨,٩٢
	مج	−٠,١٥٠	−٠,٠٦٠	+٠,١٥٠	+٠,٠٦٠	صفر	صفر		

تابع جدول (١٦)

النقطة	الضلع	مركبة أفقية	مركبة رأسية	التصحيح فى المركبة الأفقية	التصحيح فى المركبة الرأسية	مركبة أفقية مصححة	مركبة رأسية مصححة	أحداثيات النقط س	أحداثيات النقط ص
د								+٨٣٥,٦٧٠	+١٠٦٨,٩٢
	د ـ ٧	-٢٢,٩٤٠	-١٤٠,١٣٠	-٠,٠٣٣	-٠,٠٤٥	٢٢,٩٧٣	-١٤٠,١٧٥		
٧								+٨١٢,٦٩٧	+٩٢٨,٧٤٥
	٧ ـ ب	-٢٠,١٨٠	-١١٠,٦٦٠	-٠,٠٢٧	-٠,٠٣٥	-٢٠,٢٠٧	-١١٠,٦٩٥		
ب								+٧٩٢,٤٩٠	+٨١٨,٠٥٠
	ب ـ ٣	-١٣١,١٣٠	-٥,٧٣٠	+٠,٠٠٨	-٠,٠٣٢	-١٣١,١٢٢	-٥,٧٦٢		
٣								+٦٦١,٣٦٨	+٨١٢,٢٨٨
	٣ ـ حـ	+٤٩,٢٧٠	+١٩٢,٤٩٠	+٠,٠١٢	-٠,٠٤٨	+٤٩,٢٨٢	-١٩٢,٤٤٢		
حـ								+٧١٠,٦٥٠	-١٠٠٤,٧٣٠
	حـ ـ د	+١٢٥,٠٦٠	+٦٤,٢٦٠	-٠,٠٤٠	-٠,٠٧٠	+١٢٥,٠٢٠	+٦٤,١٩٠		
د								+٨٣٥,٦٧٠	+١٠٦٨,٩٢
	مج	+٠,٠٨٠	+٠,٢٣٠	-٠,٠٨٠	-٠,٢٣٠	صفر	صفر		

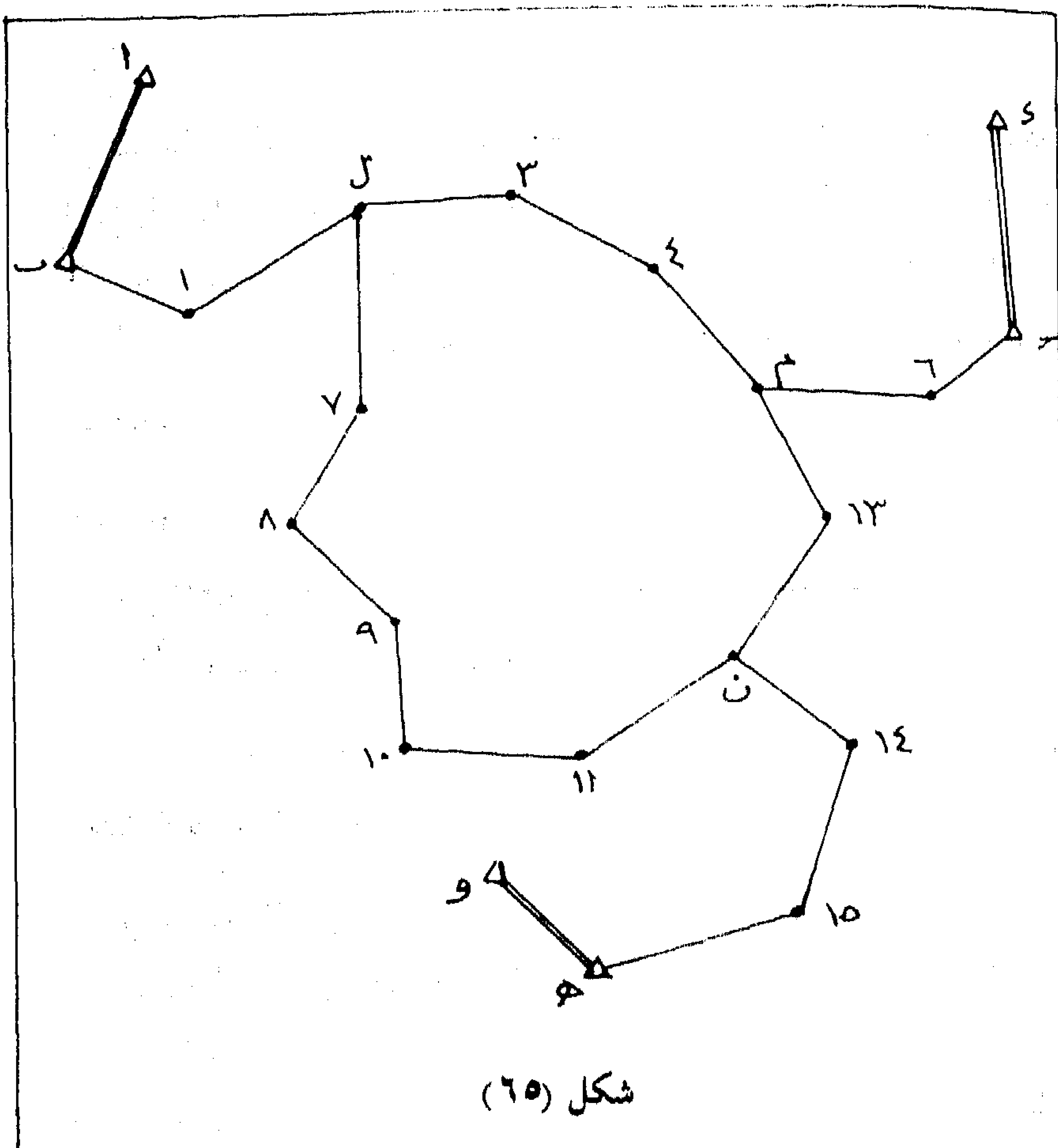
ثانياً ــ إذا كانت الشبكة مكونة من مجموعة من الترافرسات المقفلة والموصلة :

مثال لذلك الشبكة الموضحة فى شكل (٦٥) والتى تتكون من مضلع مقفل يربط على ثلاث إتجاهات ثابتة بواسطة ثلاثة مضلعات موصلة وطريقة التصحيح لا تختلف كثيراً عن طريق التصحيح فى حالة شبكات المضلعات المقفلة .

١ ــ نصحح خطأ القفل الأفقى عند نقط الشبكة التى يتحقق فيها ذلك .

٢ ــ نحسب خطأ القفل الزاوى للمضلع المقفل ثم للمضلع الموصل الذى يبدأ من ا ب وينتهى عند ء حـ ثم للمضلع الموصل الذى يبدأ من ء حـ وينتهى عند هـ و ، **وكقاعدة عامة يكون عدد المضلعات الموصلة المأخوذة فى الاعتبار عند التصحيح أقل من عدد خطوط الربط الثابتة بواحد** (يلاحظ فى المثال أن هناك مضلع موصل آخر كان يمكن أخذه وهو ب ــ ٨ ــ هـ إلا أنه حسب القاعدة أخذنا طريقين فقط لأن زوايا هذا المضلع ستكون سبق تصحيحها) .

٣ ــ نحسب معاملات التوزيع للمضلع المقفل على أساس أن التوزيع سيكون للحدود ل م ، م ن ، ن ل . أما بالنسبة للمضلعات الموصلة فإن عدد الزوايا المطلوب تصحيحها فى المضلع الواحد أزيد من عدد أضلاع المضلع بواحد . وعلى هذا الأساس يزاد عدد أضلاع المضلع الموصل بواحد عند حساب معاملات التوزيع والحد الذى يبدأ أو ينتهى بخط ربط تزاد عدد أضلاعه بمقدار نصف ضلع فمثلاً للمضلع ب حـ (الذى عدد أضلاعه ٧) يكون معامل التوزيع للحد ب ــ ل هو $\frac{٢,٥}{٨}$ وللحد ل ــ م هو $\frac{٣}{٨}$ وللحد م ــ حـ هو $\frac{٢,٥}{٨}$ وبنفس الطريقة تحسب معاملات التوزيع للمضلع حـ هـ .



شكل (٦٥)

٤ ـــ بمثل ما اتبع فى تصحيح الشبكات ذات المضلعات المقفلة يتم حساب التصحيح لزوايا كل حد فى هذا النوع من الشبكات ـــ وعند توزيع التصحيح على زوايا حد مثلب ـــل فى المضلع الموصل يتم التوزيع بنسبة ١ : ١ : $\frac{١}{٢}$ على الزوايا عندب ، ١ ،ل وللحدل ـــ م بنسبة $\frac{١}{٢}$: ١ : ١ : $\frac{١}{٢}$ للزوايا عند ل ، ٣ ، ٤ ، م وللحد م ـــﺣ بنسبة $\frac{١}{٢}$: ١ : ١ للزوايا عند م ، ٦ ،ﺣ .

٥ ـــ لتصحيح مركبات الأضلاع نتبع نفس الطريقة المستخدمة فى ذات المضلعات المقفلة لكل من المضلعات المقفلة والموصلة فى الشبكة .

مثـــال :

لشبكة الترافرسات المبينة فى شكل (٦٦) كان خطأ القفل الزاوى فى أجزائها المختلفة كما هو مبين على الشكل . بين هل هذه الأخطاء الموجودة بهذه المضلعات مسموح بها أم لا إذا كان التيودوليت المستخدم فى القياس دقته ٢٠″ . عين التصحيحات اللازمة لزوايا شبكة الترافرسات المبينة لأقرب ثانية صحيحة .

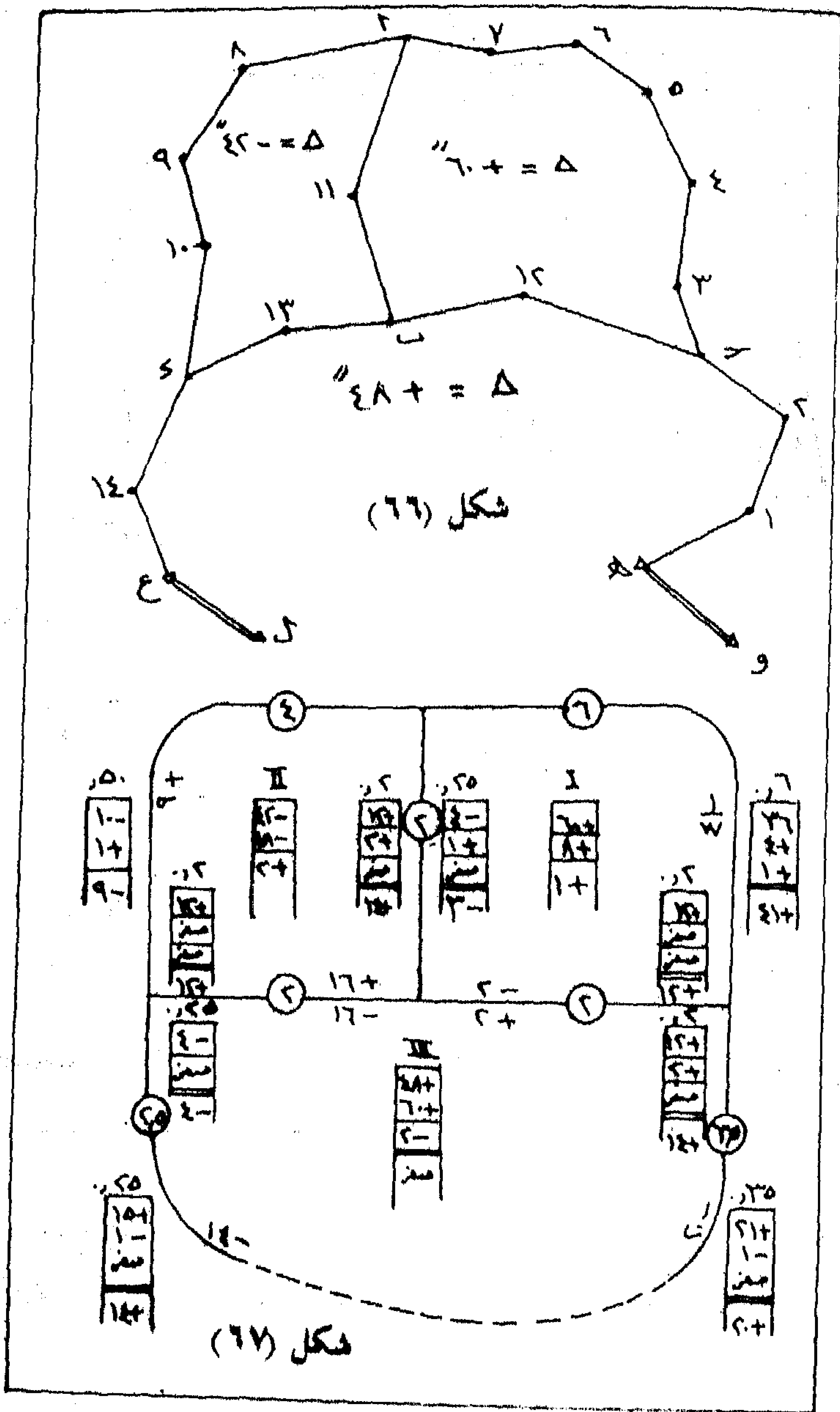
الحـــــل :

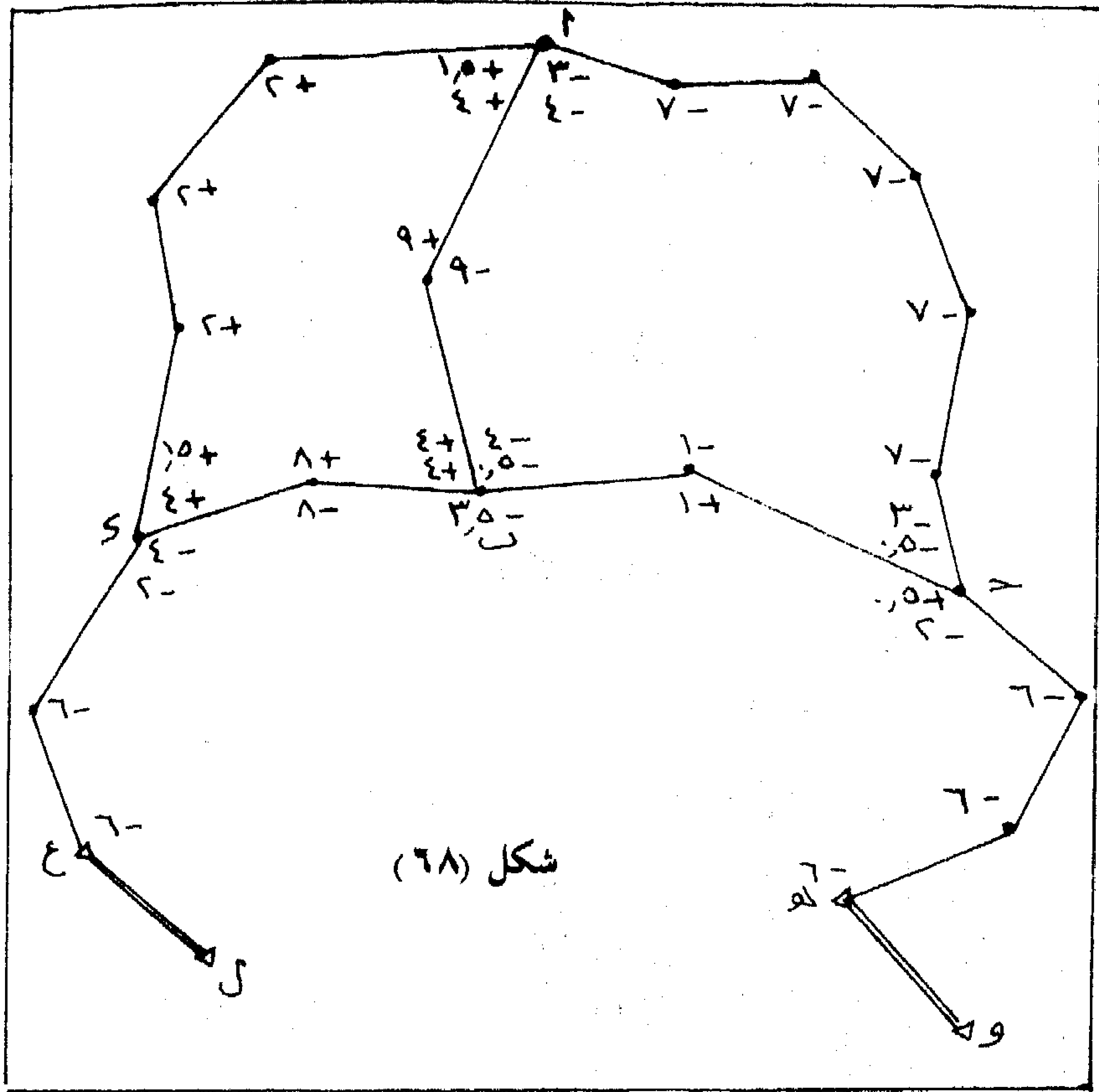
من الشكل نجد أن خطأ القفل الزاوى للمضلع المقفل ا حـ ب هو + ٦٠″ والمسموح به فى المضلعات المقفلة هو :

± ١,٥ و″ $\sqrt{ن}$ = ± ١,٥ × ٢٠″ $\sqrt{١٠}$ = ± ٩٤,٨″ أى أن خطأ القفل لهذا المضلع مسموح به .

وللمضلع المقفل ب ء ا المسموح به هو ± ١,٥ × ٢٠″ $\sqrt{٨}$ = ± ٨٤,٨″ فى حين أن خطأ القفل المحسوب لهذا المضلع هو – ٤٢″ أى مسموحاً به . وللمضلع الموصل وهو ب حـ ء ع ل المسموح به ± ٢ و″ $\sqrt{ن}$ = ± ٢ × ٢٠″ $\sqrt{١٠}$ = ± ١٢٦,٥″ فى حين أن القيمة الفعلية لخطأ القفل هى + ٤٨″ أى مسموحاً بها .

وللحصول على التصحيحات اللازمة للزوايا نستعين بالكروكى الموضح فى شكل (٦٧) الذى يبين حدود الشبكة وكتب على كل حد عدد الأضلاع مع مراعاة أنه للحد حـ هـ وللحد ء ع زيدت عدد الأضلاع لكل منها بمقدار $\frac{١}{٢}$ وعلى هذا الأساس حسبت معاملات التوزيع وبينت على جداول التوزيع لكل حد كما فى الشكل . وبالإستعانة بجداول الخطأ بدىء بتوزيع الأخطاء من المضلع I ثم III ثم II وإستمررنا فى التوزيع حتى صارت قيمة الخطأ مساوية الصفر . ثم حصلنا على التصحيح اللازم لكل حد . وعلى شكل (٦٨) بينت

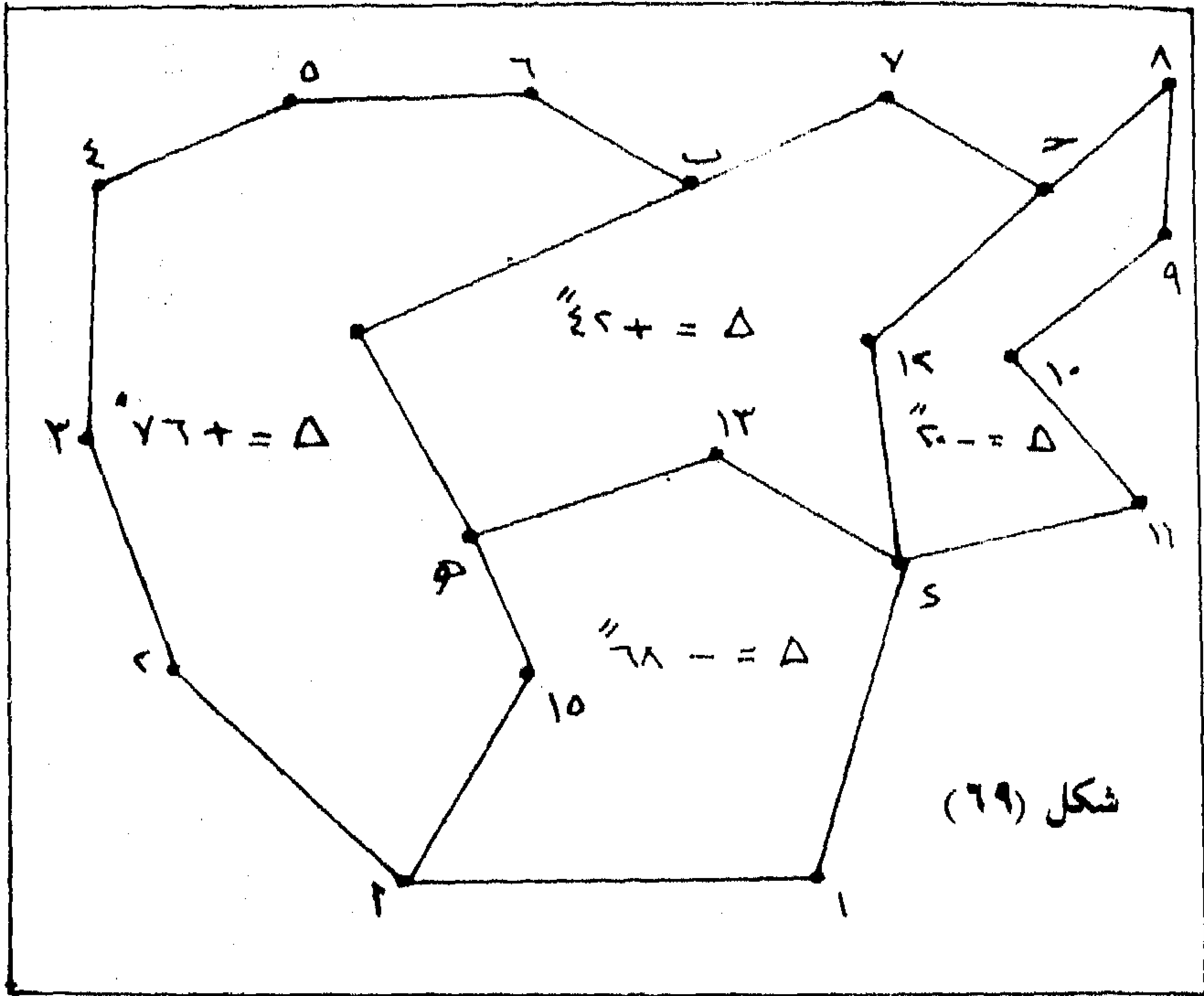



شكل (٦٨)

التصحيحات اللازمة لكل زاوية . ويلاحظ أنه للحد عء في المضلع الموصل تم التصحيح للزوايا بنسبة ١ : ١ : $\frac{١}{٢}$ عند ع ، ١٤ ، ء وبذلك كان التصحيح لهذه الزوايا هى − ٦ ، − ٦ ، − ٢ بمجموع كلى −١٤ وبالمثل للحدهـ حـ التصحيح تم بنسبة ١ : ١ : $\frac{١}{٢}$ عند الزوايا هـ ، ١ ، ٢ ، حـ .

تمرينـــــات

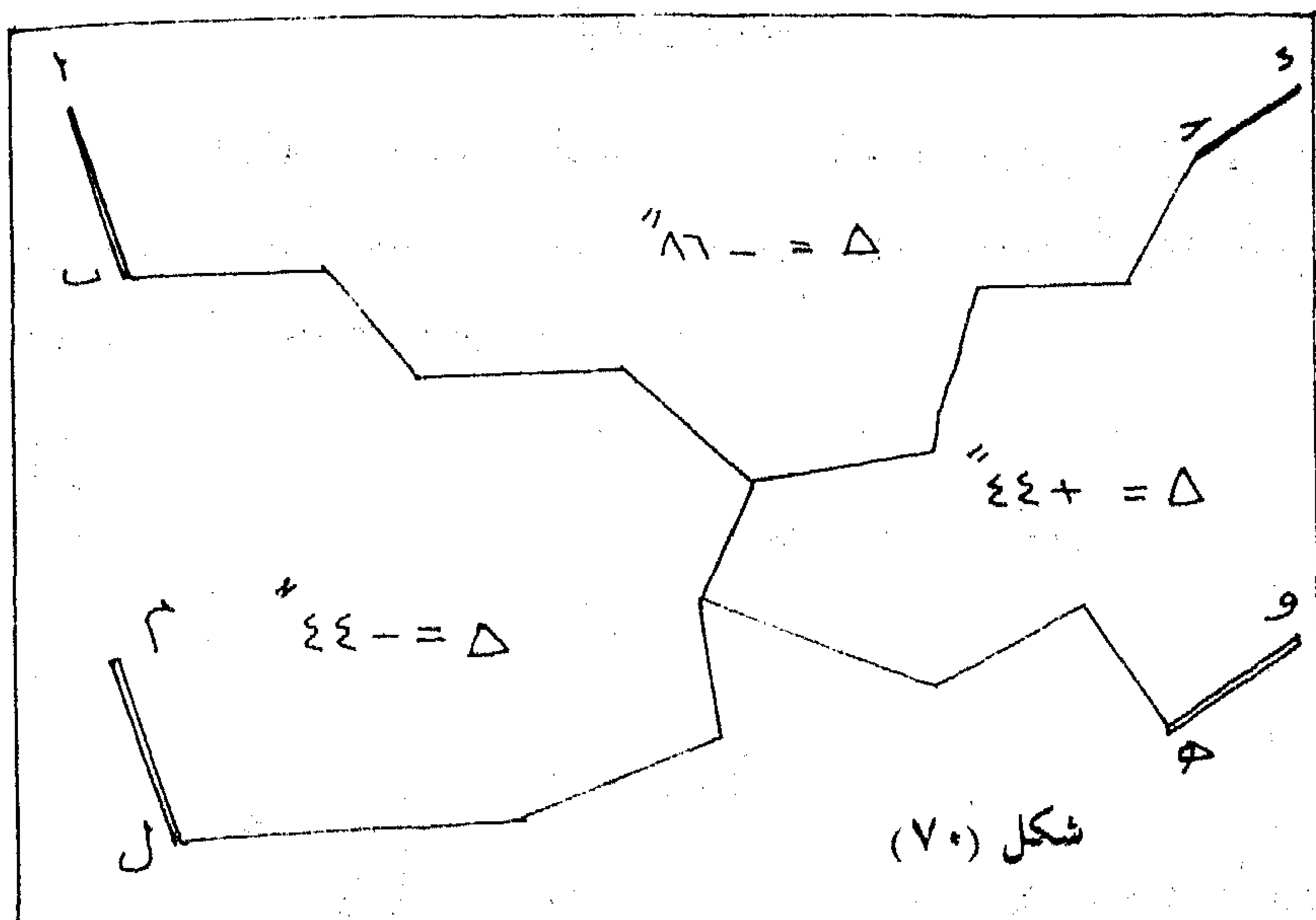
١ ــ لشبكة الترافرسات المبينة بالشكل (٦٩) والمعطى داخل كل حلقة فيها مقدار خطأ القفل الزاوى ــ احسب التصحيحات الزاوية للحدود لأقرب ثانية صحيحة وللزوايا لأقرب ٠,١″ .



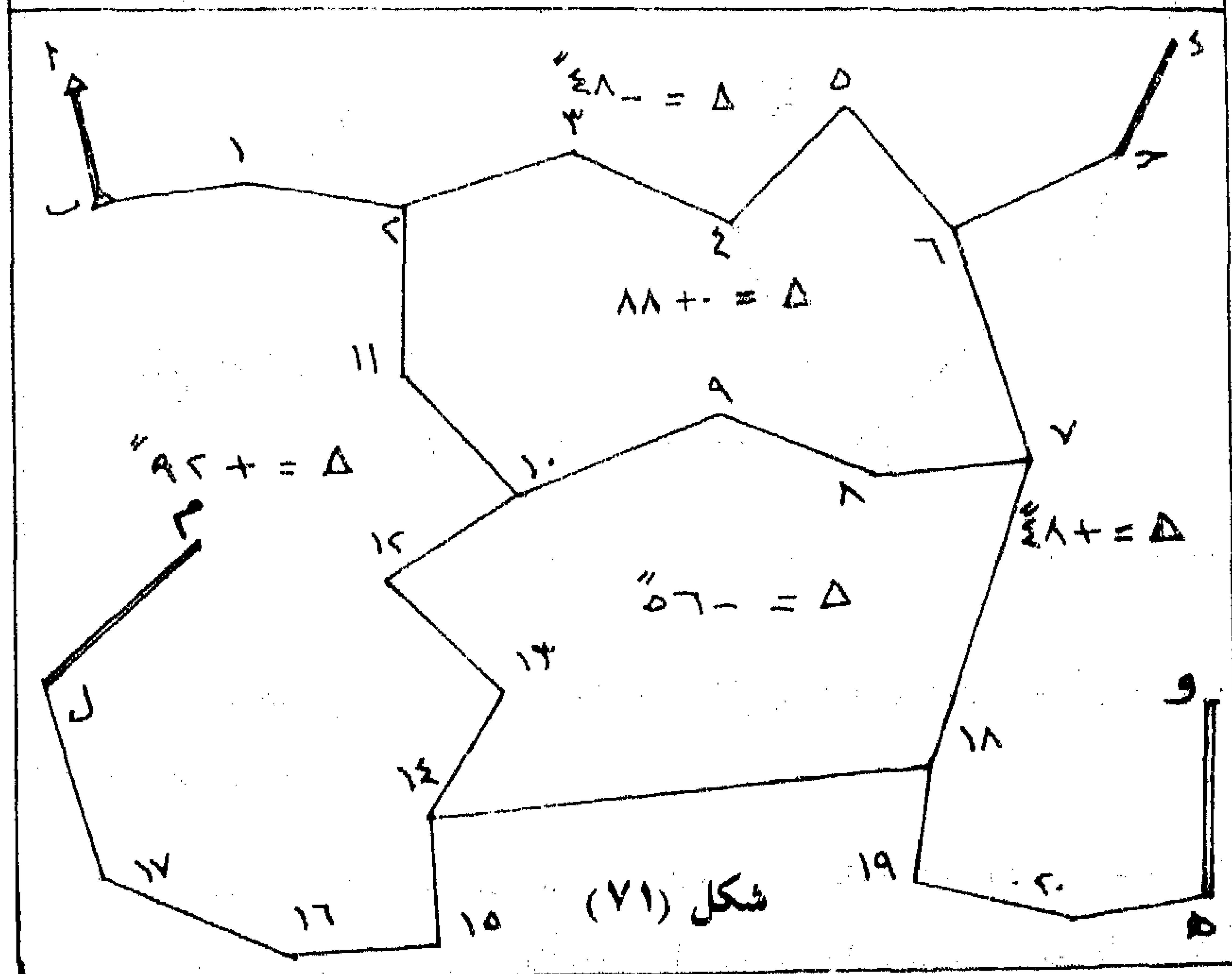
شكل (٦٩)

٢ ــ لشبكة الترافرسات المبينة بالشكل (٧٠) عين قيم التصحيحات الزاوية لأقرب ٠,١″ .

٣ ــ لشبكة الترافرسات المبينة والمقاسة زواياها بتيودوليت دقته ٢٠″ عين قيم التصحيحات الزاوية للأخطاء المبينة إذا ما كانت مسموحاً بها شكل (٧١) .



شكل (٧٠)

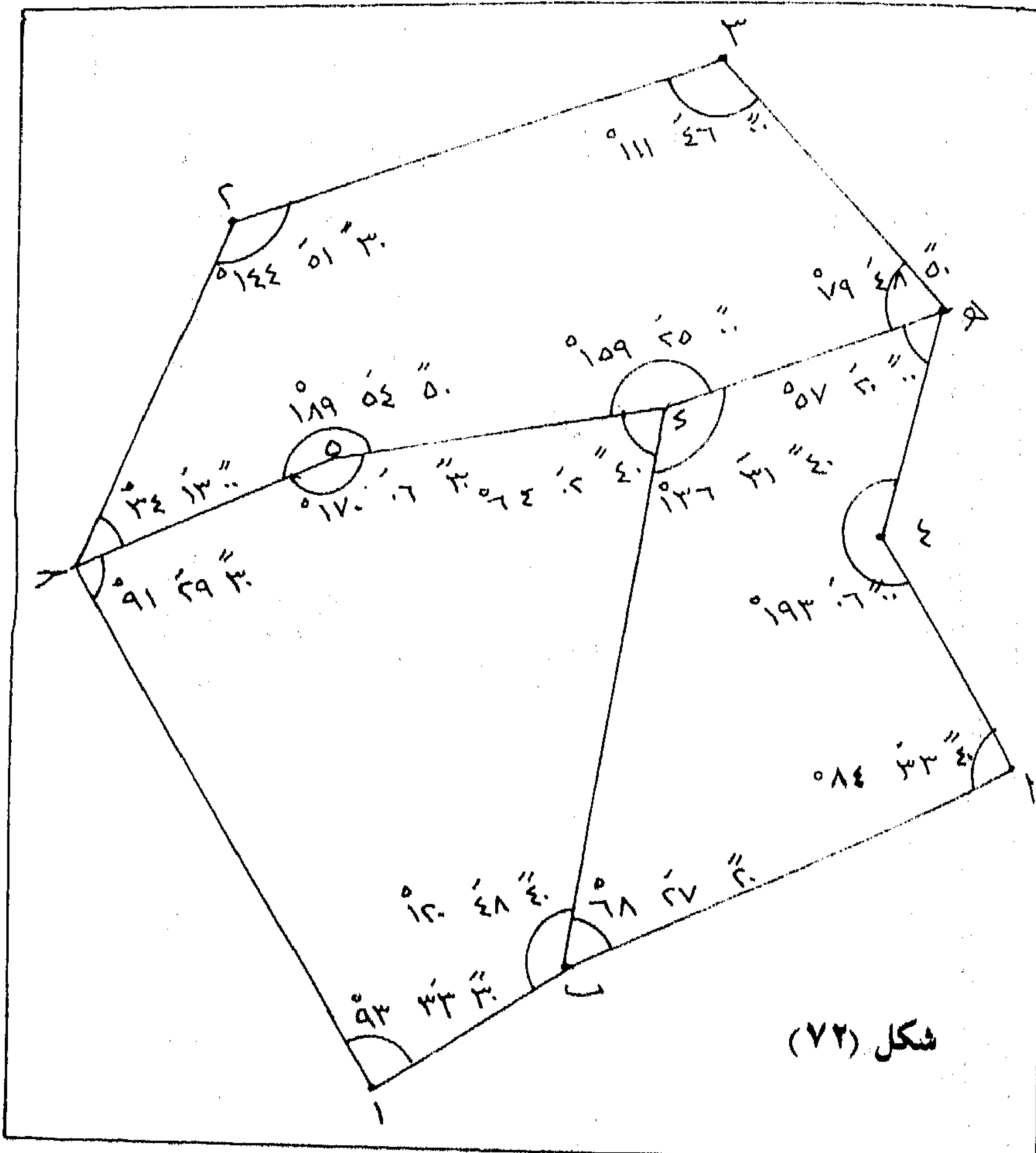


شكل (٧١)

٤ ــ الكروكى شكل (٧٢) يوضح قيم الزوايا المقاسة فى شبكة الترافرسات . بين ما إذا كانت أخطاء القفل الزاوية مسموحاً بها . ثم أحسب الأنحرافات المصححة للأضلاع إذا ما كان انحراف الخط ا ب هو ١٤″ ٥٦′ ٢١٢° . وذلك بإستخدام :

ا ــ طريقة المضلعات المقفلة والموصلة .

ب ــ طريقة التصحيح المتتالى لبوبوف .



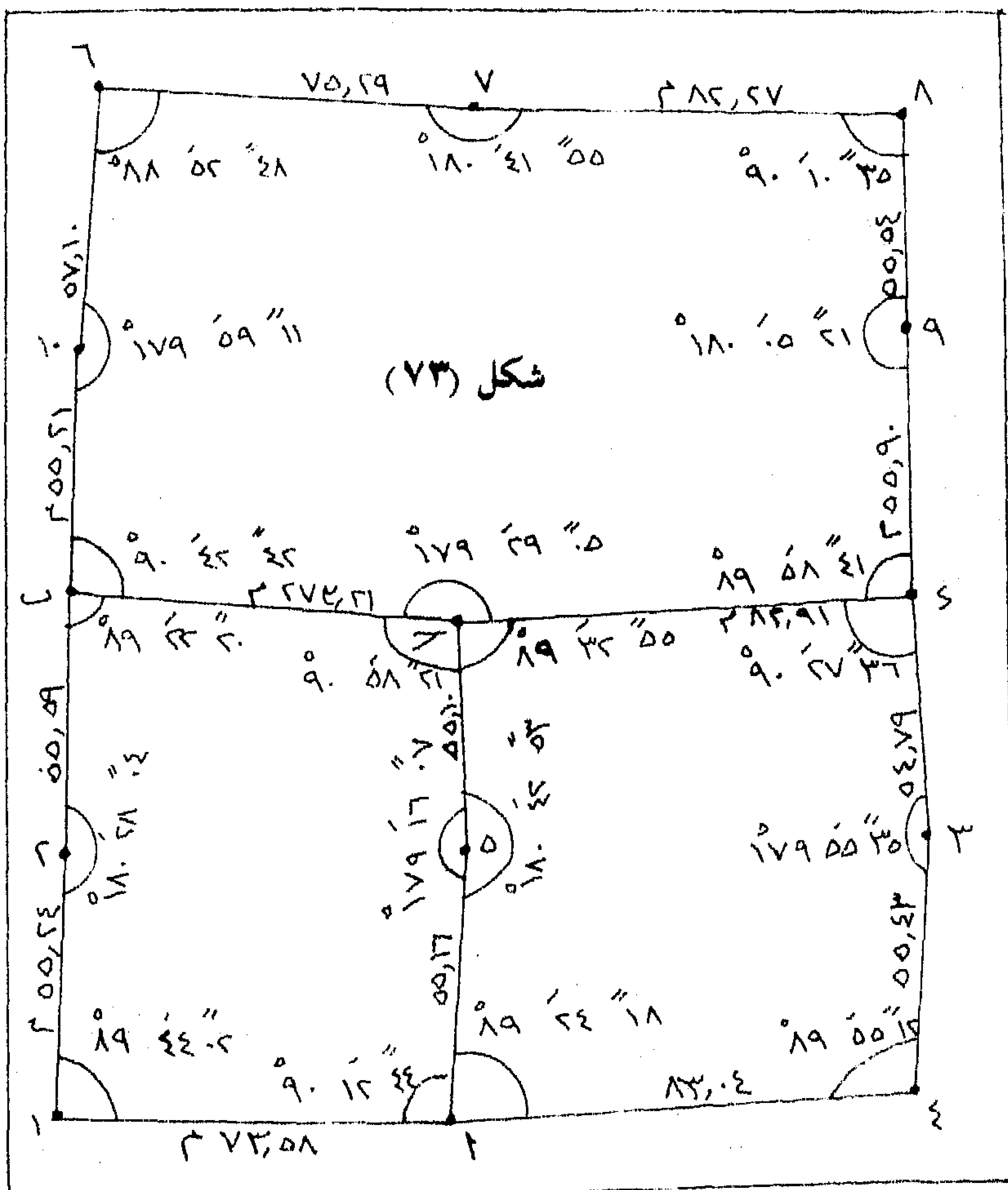
شكل (٧٢)

٥ ـ احسب الأحداثيات الصحيحة لنقط شبكة الترافرسات المبينة بالكروكى إذا كانت احداثيات نقطة ا هى (+ ٢٠٠٠,٠٠ ، + ٢٠٠٠,٠٠) وانحراف الخط ا ـ ٤ يساوى ٢٠″ ٣٦′ ١١٨° وذلك بأستخدام :

ا ـ طريقة المضلعات المقفلة والموصلة .

ب ـ طريقة التصحيح المتتالى لبوبوف .

قارن بين النتائج فى الحالتين .



شكل (٧٣)

الباب التاسع

استخدام الترافرسات فى تقسيم الأراضى وتعديل الحدود

فى كثير من الأحيان تقابلنا فى الحياة العملية مشاكل تقسيم الأراضى ذات الحدود المستقيمة أو تعديل حدود قطع أراضى بحيث توفى شرط أو شروط معينة . والواقع أن حل مثل هذه المشكلات يتطلب الأستعانة بترافرس مقفل أو أكثر يشكل بحيث تكون حدود القطعة هى أضلاع فيه ، وغالباً من تكون الحدود الجديدة للتقسيم أو التعديل هى أرصاد ناقصة فى مثل هذه الترافرسات ، وبالتالى يسهل الحصول على المجاهيل بحل مثل هذه الترافرسات وعليه يتم الحصول على حدود التقسيم أو الحد المعدل .

والأمثلة التالية تبين بعض حالات استخدام الترافرسات فى حل مشكلات التقسيم للأراضى وتعديل الحدود .

١ ــ حساب المساحة المقتطعة بخط يصل بين نقطتين معلومتين على حدود القطعة :

نفرض أن ا ب حـ ى هـ و ل مضلع شكل على الحدود المستقيمة لقطعة الأرض فى شكل (٧٤) ويراد تقسيمها إلى قسمين بواسطة الخط ا ى وقد أجرى تصحيح الأرصاد لترافرس على هذه الحدود وصححت مركبات الأضلاع .

والمطلوب حساب المساحة ا ب حـ ى ، وطول ا ى وانحرافه .

نعتبر أى قسم من القسمين ترافرس مقفل وليكن ا ب حـ ى المجهول فيه طول الضلع ا ى واتجاهه ونحسب مركبات هذا الضلع وانحرافه كما فى الحالة ثالثاً من الأرصاد الناقصة ومن مركبات أضلاع الترافرس ا ب حـ ى يمكن حساب مساحته .

وكتحقيق للعمل نقيس ا ى من الطبيعة ونقارنه بطوله المحسوب ، كما يوجد تحقيق آخر وهو حساب مساحة الجزء الثانى ا ى هـ و ل ، يجب أن يكون مجموع المساحتين الجزئيتين يساوى المساحة الكلية .

٢ ــ ايجاد المساحة المفصولة بخط من أحد أركان القطعة ومعلوم انحرافه :

ا ب حـ ى هـ و ل شكل (٧٥) يبين حدود قطعة أرض معلوم مركبات أضلاعه المصححة . ى س يمثل خط معلوم انحرافه من أحد الأركان ى ليقطع الحد (ا ل) فى س .

المطلوب إيجاد مساحة كل من القطعتين المفصولتين بهذا الخط .

لحساب المساحة المفصولة نعتبر ا ب حـ ى س ا ترافرس مقفل مجهول فيه طول الضلعين ا س ، ى س . وبحل هذا الترافرس وايجاد مركباته يمكن حساب مساحة هذا الجزء .

هذا إذا كانت المساحات مرفوعة بطريقة الترافرس ، أما إذا كانت الأرض مرفوعة بأية طريقة أخرى فتقاس الأطوال اللازمة للحساب من الرسم .

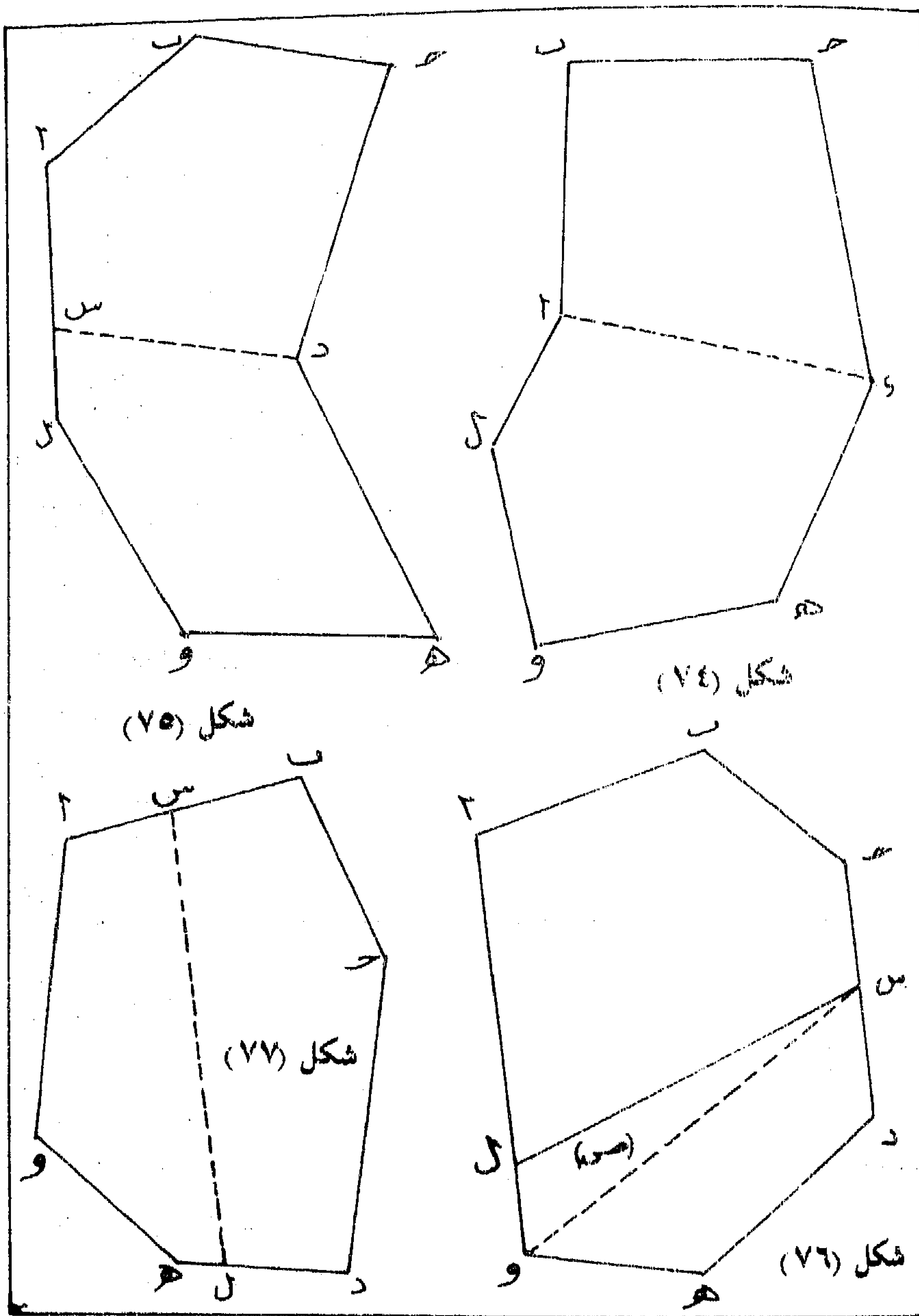
ويمكن عمل تحقيق فى الغيط بتوقيع الخط ى س بالإنحراف المعلوم ثم إيجاد نقطة (س) على الحد ومنه نقيس س ا ونقارنه بالطول المحسوب .

٣ ــ اقتطاع مساحة معينة بخط مستقيم يمر بنقطة معلومة على حدود القطعة :

ا ب حـ ى هـ و حدود قطعة أرض شكل (٧٦) صححت مركبات أضلاعه وحسبت مساحتها .

س نقطة على الحدود يراد رسم خط منها يفصل مساحة معينة من هذه القطعة. المطلوب الآن هو طول وانحراف هذا الخط وتجرى الخطوات التالية :

ا ــ نرسم خطاً من س إلى الركن الذى نعتقد من أختبار الشكل أنه سيكون أقرب الأركان إلى خط التقسيم .



ب
ﺣ
أ
س
د
ل
و
ﻫ
شكل (٧٥)
أ
ﺀ
ﻫ
شكل (٧٤)
س
شكل (٧٧)
شكل (٧٦)

ب ــ نحسب مركبات الخط (حـ ــ س)

مركبات حـ س = مركبات حـ ء . $\frac{\text{حـ س}}{\text{حـ ء}}$

حـ ــ الآن فى الترافرس ا ب حـ س و ا كل الأضلاع معلومة ما عدا س و والذى يمكن حساب مركباته وطوله وانحرافه كما سبق فى الترافرس ومن ثم يمكن إيجاد مساحة هذا الترافرس ولتكن $م_١$.

ء ــ نحسب الفرق بين المساحة المطلوب أقتطاعها م وبين $م_١$ ، ونفرض أن $م_١$ أكبر من م (الفرق = $م_١$ ــ م = ص) .

نفرض أن الوضع الصحيح لخط التقسيم هو س ل .

ص = مساحة المثلث س و ل .

فى هذا المثلث الزاوية س و ل معلومة = الفرق بين أنحرافى ل و ، و س كما أن طول (س و) قد حسب فى أول المسألة .

المساحة ص = $\frac{١}{٢}$ (و ل) . (س و) جا س $\hat{و}$ ل

طول الضلع و ل = $\frac{\text{٢ ص}}{\text{طول س و . جا س} \hat{\text{و}} \text{ل}}$

.... (٦٣)

وفى الغيط يوقع الخط س ل من س فى الاتجاه المعين وبالطول المحسوب ، وتتحقق إذا كانت ل تقع فى الطبيعة على ا و أم لا وكذلك إذا كانت المسافة و ل تتفق مع المسافة المحسوبة .

٤ ــ اقتطاع مساحة معينة بخط ذى انحراف معين :

نفرض أن القطعة هى ا ب حـ ء هـ وا نريد إقتطاع مساحة معينة ص بخط س ل ذى إنحراف معلوم . المطلوب ايجاد طول س ل ،ل هـ شكل (٧٧) .

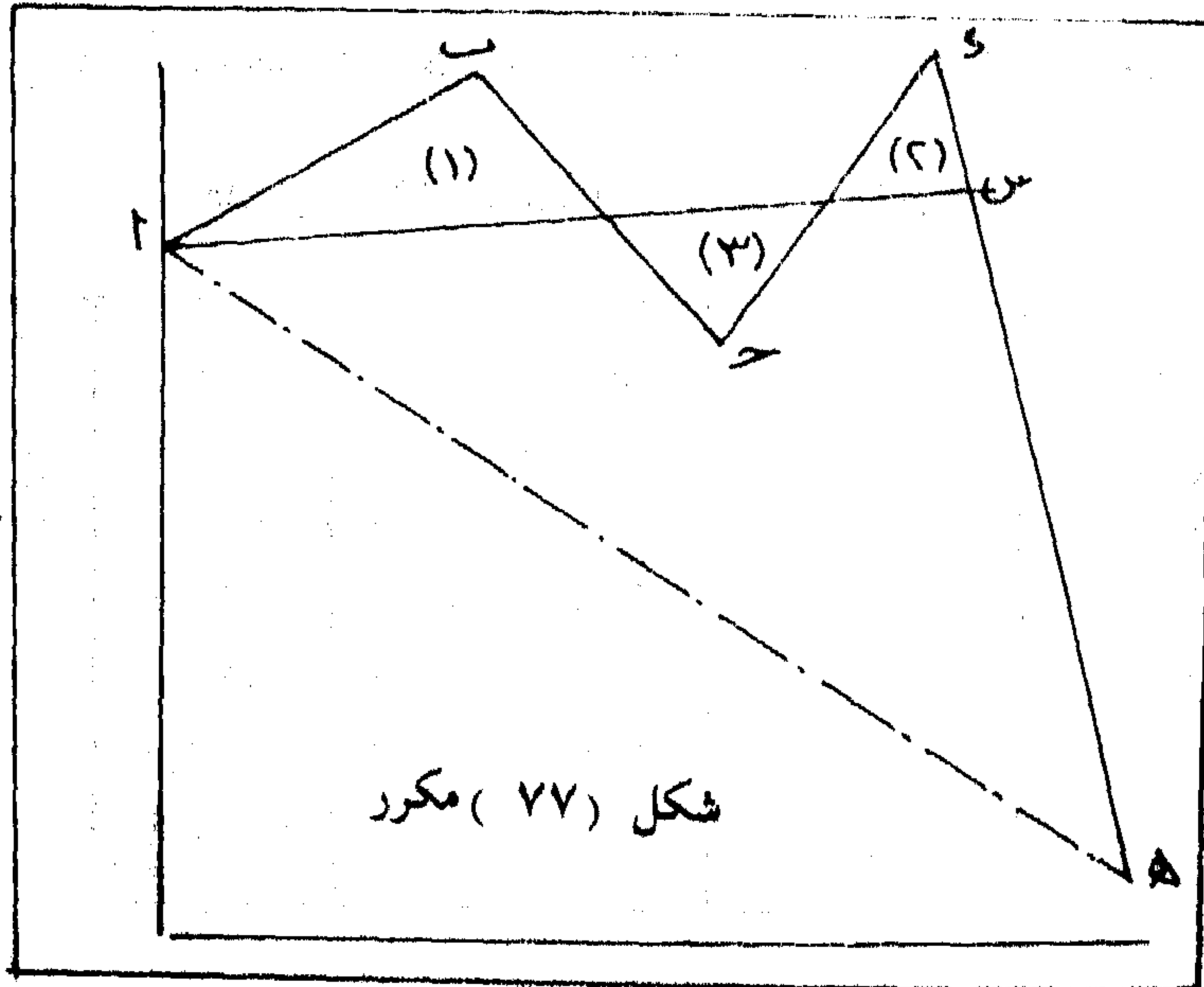
١ ــ نوجد مساحة المضلع ا ب حـ ء هـ و بأى طريقة من الطرق المعروفة .

٢ ــ نعتبر ا س ل هـ و ترافرس مقفل مجهول فيه أطوال ا س ، س ل ، ل هـ . وبذا نحتاج إلى معادلة ثالثة وهذه هى المعادلة التى يمكن تكوينها بمعرفة المساحة المعلومة للجزء ومركبات الأضلاع .

٥ ــ تعديل الحدود :

المثال الآتى يوضح الطريقة المتبعة فى تعديل الحدود .

المعلومات التالية رصدت للحد المتعرج ا ب حـ ء هـ الذى يفصل بين قطعتى أرض شكل (٧٧) مكرر .



شكل (٧٧) مكرر

الخط	الأنحراف	المسافة الأفقية (متر)
ا ب	س ١٤ َ ٨٣ْ ق	٢٥٣,٢
ب حـ	حـ ٣٠ َ ٤٦ْ ق	٤٢٦,٤
حـ ء	س ١٣ َ ٣٦ْ ق	٥٤٣,٨
ء هـ	حـ ٥٤ َ ٢٣ْ ق	١٢٦٠,٢

والمطلوب تعديل الحدا ب حـ ء هـ إلى الحدا س هـ حيث ا س خط مستقيم ، س تقع على الحدء هـ ، وذلك بدون أن تتغيـر المساحات الأصلية أى أن المساحتين (١) + (٢) = المساحة (٣) .

خطوات الحل تكون كالآتى :

١ ــ تحسب مركبات الأضلاع المعلومة كما هو مبين فى جدول (١٧) .

٢ ــ تحسب الأحداثيات للنقط بأعتبار (ا) كنقطة أصل .

٣ ــ توجد مساحة الشكل ا ب حـ ء هـ ا بمعلومية أحداثيات النقط ا ، ب ، حـ ، ء ، هـ بطريقة الأحداثيات كما هو مبين بجدول (١٨) .

وبحساب المساحة بهذه الطريقة نجد أنها تساوى ٤٢٨٩٥٤,٤ متر مربع .

جدول (١٧) حساب مركبات الأضلاع

الضلع	الطول (متر) (١)	الأنحراف المختصر (٢)	مركبة أفقية (٣)	مركبة رأسية (٤)
ا ب	٢٥٢,٥	س ١٤ َ ٨٣ْ ق	+ ٢٥١,٤٤	+ ٢٩,٨٣
ب حـ	٤٢٦,٤	حـ ٣٠ َ ٤٦ْ ق	+ ٣٠٩,٣٠	− ٢٩٣,٥١
حـ ء	٥٤٣,٨	س ١٣ َ ٣٦ْ ق	+ ٣٢١,٣٠	+ ٤٣٨,٧٤
ء هـ	١٢٦٠,٢	حـ ٥٤ َ ٢٣ْ ق	+ ٥١٠,٥٧	− ١١٥٢,١٥

جدول (١٨) حساب أحداثيات النقط

	أفقى	رأسى
ا	صفر	صفر
ا ب	+ ٢٥١,٤٤	+ ٢٩,٨٣
ب	+ ٢٥١,٤٤	+ ٢٩,٨٣
ب حـ	+ ٣٠٩,٣٠	- ٢٩٣,٥١
حـ	+ ٥٦٠,٧٤	- ٢٦٣,٦٨
حـ ء	+ ٣٢١,٣٠	+ ٤٣٨,٧٤
ء	+ ٨٨٢,٠٤	+ ١٧٥,٠٦
ء هـ	+ ٥١٠,٥٧	- ١١٥٢,١٥
هـ	+ ١٣٩٢,٥١	- ٩٧٧,٠٩

٤ ــ من الأحداثيات المحسوبة نحسب الزاوية ا هـ ء وطول هـ ا حيث :

انحراف هـ ا = ظا⁻¹ (- ١٣٩٢,٦١ / + ٩٧٧,٠٩) = ٤٤″ ٥٦′ ٥٤° غـ

= ١٦″ ٠٣′ ٣٠٥°

طول هـ ا = ١٣٩٢,٥١ قتا ٤٤″ ٥٦′ ٥٤°

= ١٧٠١,٢ متر

انحراف هـ ء = ٠٠″ ٥٤′ ٢٣° غـ = ٠٠″ ٠٦′ ٣٣٦°

الزاوية ا هـ ء = ٠٠″ ٠٦′ ٣٣٦° ــ ١٦″ ٠٣′ ٣٠٥°

= ٤٤″ ٠٢′ ٣١°

٥ ــ لإيجاد طول هـ س بحيث أن مساحة المثلث ا س هـ تساوى ٤٢٨٩٥٤,٤ م٢ .

مساحة المثلث ا س هـ = $\frac{١}{٢}$ هـ س . هـ ا . جا هـ ء

هـ س = $\frac{\text{٢ مساحة المثلث ا س هـ}}{\text{هـ ا جا هـ ء}}$

= $\frac{\text{٢} \times \text{٤٢٨٩٥٤,٤}}{\text{١٧٠١,٢ جا ٤٤'' ٢٠' ٣١°}}$

= ٩٧٧,٨٤ متر

الباب العاشر
ترافرسات المشروعات

تقسم المشروعات طبقاً للنظام المتبع فى مصلحة المساحة إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

١ ـــ مشروعات فى أرض بها شبكات المثلثات كاملة بالمنطقة .

٢ ـــ مشروعات فى أرض ترافرسات الغيط بها كاملة ومصححة .

٣ ـــ مشروعات فى أرض لا يوجد بها ترافرسات أو شبكات مثلثات تربط عليها .

النوع الأول

مشروعات فى أرض لا يوجد بها نقط ترافرس سابقة ولكن شبكات المثلثات كاملة بالمنطقة .

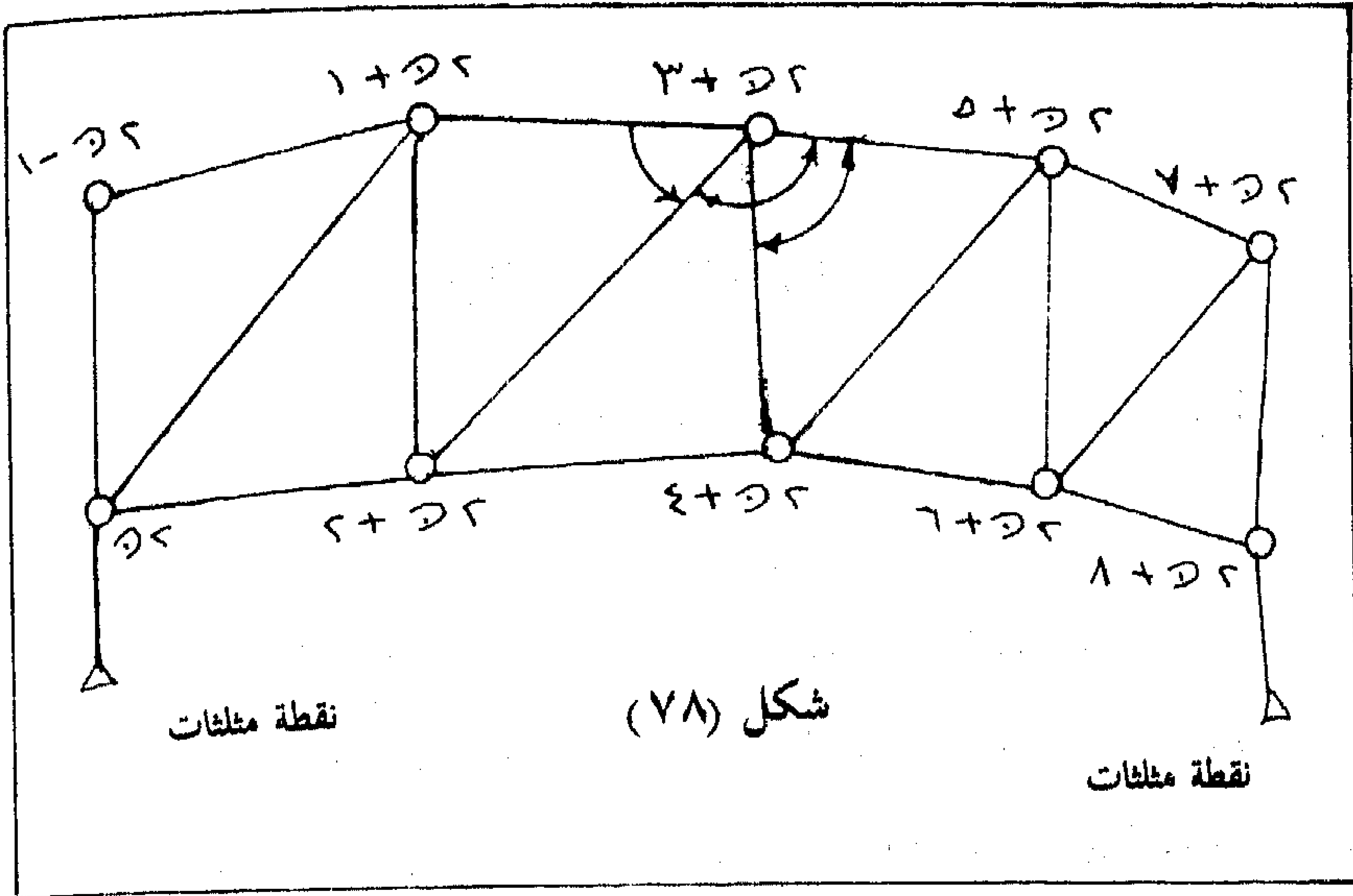
تحسب كترافرس الأراضى الزراعية مع إستعمال نفس حدود الأخطاء المسموح بها . والشكل المعتاد للترافرس عبارة عن خطوط متوازية تقريباً بروابط عرضية كل ٢٠٠ متر أو أقل .

وطريقة حساب الترافرس تعتمد على عرض المشروع وتوجد لذلك حالتان :

أولاً ـــ مشروعات عرضها أقل من ٤٠ متر :

حيث أننا لا يمكننا الحصول على دقة كافية بالرصد على نظرات أقل من ٥٠ متراً فيرصد أحد أقطار الشكل الرباعى المكون من زوجين من النقط المتقابلة .

والأرصاد فى الغيط سوف تحتوى على الزوايا الآتية : شكل (٧٨) .



شكل (٧٨)

عند ٢ هـ + ٢:
- ٢ هـ إلى ٢ هـ + ٣
- ٢ هـ + ٣ إلى ٢ هـ + ٤ المسافة ٢ هـ + ٢ إلى ٢ هـ + ٤
- ٢ هـ إلى ٢ هـ + ١ المسافة ٢ هـ + ٢ إلى ٢ هـ + ١

وعدد زوايا الجهة المقابلة

عند ٢ هـ + ٣:
- ٢ هـ + ٥ إلى ٢ هـ + ٤
- ٢ هـ + ٥ إلى ٢ هـ + ٢ المسافة ٢ هـ + ٣ إلى ٢ هـ + ٤
- ٢ هـ + ٢ إلى ٢ هـ + ١ المسافة ٢ هـ + ٣ إلى ٢ هـ + ٤

حساب الانحرافات :

١ — نجمع كل الزوايا الداخلية لكل الأشكال الرباعية ذات الطابع ٢ هـ + ٢ ، ٢ هـ + ٤ ، ٢ هـ + ٥ ، ٢ هـ + ٣ .

فيجب أن يكون مجموعها ٠٠″ ٠٠′ ٥٤٠° بخطأ مسموح به ٢٠″ ٢′ .

٢ — يوزع الخطأ على الأربع زوايا فى كل شكل رباعى بالتساوى .

٣ ــ نوجد الأنحرافات مبتدئين بانحراف الخط الثابت (إلى اليسار) ثم نحسب إنحرافات الخطوط ٢ﻫ ، ٢ﻫ + ٢ ، .... ونقفل على إنحراف الخط الثابت إلى اليمين فى الشكل بإستعمال الزوايا المصححة وتصحح الزوايا والأنحرافات كما فى الترافرس الموصل ونسمى هذا (الترافرس الأساسى) .

٤ ــ نحسب انحرافات الخط ٢ﻫ +٧ ، .... ، ٢ ﻫ ــ ١ مبتدئين من اليمين مستعملين الزوايا المصححة من الأشكال الرباعية مع عمل تصحيحات أخرى عليها (نفس التصحيحات التى أجريت على الترافرس الأساسى نتيجة الربط على الخطوط الثابتة) ، وذلك حتى لا نخل بالشرط فى الخطوة (١) ونسمى هذا بالمضلع الفرعى . ويجب حينئذ أن يقفل المضلع الفرعى بدون خطأ نتيجة للتصحيحات التى عملت .

٥ ــ إنحرافات الروابط العرضية ٢ﻫ + ١ إلى ٢ + ٢ﻫ الخ ...

نحسب كل منها مرتين ، مرة من الترافرس الأساسى ٢ﻫ ، ٢ﻫ + ٢ ... ومرة من الترافرس الفرعى ٢ﻫ ــ ١ ، ٢ﻫ + ١ ...

٦ ــ الفرق المسموح به بين انحرافى الخط = ± ٣′

ويؤخذ المتوسط إذا كان الفرق مسموحاً به .

حساب الأحداثيات :

١ ــ تحسب إحداثيات كل نقط المضلع الأساسى ٢ﻫ ، ٢ﻫ + ٢ ، ٢ﻫ + ٤ ، .... وتصحح كالترافرس الموصل بالربط على إحداثيات النقط الثابتة عند كل طرف .

٢ ــ نبتدىء من الشكل الرباعى على اليمين ونحسب أحداثيات نقطه ٢ﻫ + ٥ ، ٢ﻫ + ٧ كترافرس فرعى .

ثم ٢ﻫ + ٤ إلى ٢ﻫ + ٣ ونقفل على ٢ﻫ + ٥ .

ثم ٢ﻫ + ٢ إلى ٢ﻫ + ١ ونقفل على ٢ﻫ + ٣ وهكذا .

وخطأ القفل المسموح به = ٢٥ سم .

وإذا كان خطأ القفل مسموحاً به فلا تعمل تصحيحات الأحداثيات للنقط المتوسطة (مثل ٢ج + ٣ ، ٢ج + ١) .

ثانياً — المشروعات التى يزيد عرضها عن ٤٠ متراً :

فى هذه الحالة لا نحتاج لرصد الأقطار كما سبق ، وإنما يرصد فقط عدد كاف من الخطوط العرضية على فترات على ألا تزيد عن ٧٠٠ متر .

يحسب جانب واحد فقط كترافرس أساسى موصل من نقطة مثلثات إلى نقطة مثلثات أخرى ثم تقفل كل الخطوط الأخرى كترافرسات فرعية على الترافرس الأساسى .

النوع الثانى

مشروعات فى أرض ترافرسات الغيط بها كاملة ومصححة :

يتبع فى هذا النوع كل الطرق المستعملة فى النوع الأول من كافة النواحى مع التأكد مما يلى :

١ — الربط على ترافرس الغيط من آن لآخر ، وأقصى مسافة بين الربطين فى إتجاه المشروع لا يزيد عن ٨٠٠ متر .

٢ — إذا وقعت أى نقطة من المشروع فى حدود عشرة أمتار من نقط ترافرس الغيط يجب ربطها بالترافرس بأرصاد مباشرة .

النوع الثالث

مشروعات فى أرض لا يوجد بها ترافرسات أو شبكات مثلثات تربط عليها :

يحسب المشروع مستقلاً بنفسه مع أخذ نقطة أصل خاصة به ويعطى أى خط فيه انحراف أختيارى ، وعادة يكون ٠٠″ ٠٠′ ٥٠° ثم يحسب

الترافرس الخارجى المقفل كالمعتاد . أما الخطوط المتوسطة الداخلية فتحسب كما سبق .

حساب الأحداثيات : تفرض إحداثيات النقطة الأولى وتحسب إحداثيات باقى النقط . ثم يعاد حساب المشروع كله عند ربط المنطقة بترافرسات الغيط .

ملحوظة هامة : عند عمل ترافرسات غيط فى منطقة تحتوى مشروع من النوع الأول أو الثالث يجب ربط المشروع بالترافرسات فى أماكن متعددة ويربط أيضاً جيداً بكل نقط المثلثات فى هذه المنطقة .

تعيين النقط بالتقاطع

فى بعض ترافرسات الغيط توجد بعض النقط التى يصعب أو يستحيل إحتلالها بالتيودوليت . هذه النقط تعين بالتقاطع من نقط الترافرس الأساسى وغالباً ما تكون هذه النقط بعيدة ويصعب قياس بعدها عن نقط الترافرس .

وتعين هذه النقط بالتقاطع بإحدى طريقتين :

الطريقة الأولى :

١ ــ نقيس الزوايا (هـ ، ﻫ) من نقطتين من نقط الترافرس وبعدها عن إحدى النقطتين شكل (٧٩) .

٢ ــ نحسب أطوال أضلاع المثلث متخذين ضلع الترافرس ا ب كقاعدة .

٣ ــ نقارن الطول ا م المحسوب بالطول (ل) المقاس ، فيجب ألا يزيد الفرق بينهما عن ٣٠ سنتيمتر .

ولحساب إحداثيات م يؤخذ ا ب م كترافرس عادى ثانوى مستعملين الطول المقاس والطول م ب المحسوب والزاوية ا ب م = ١٨٠° ــ هـ ــ ﻫ . وبذا يمكن حساب أنحرافات الأضلاع من معلومية انحراف ا ب ثم نستمر كأى مضلع مقفل عادى .

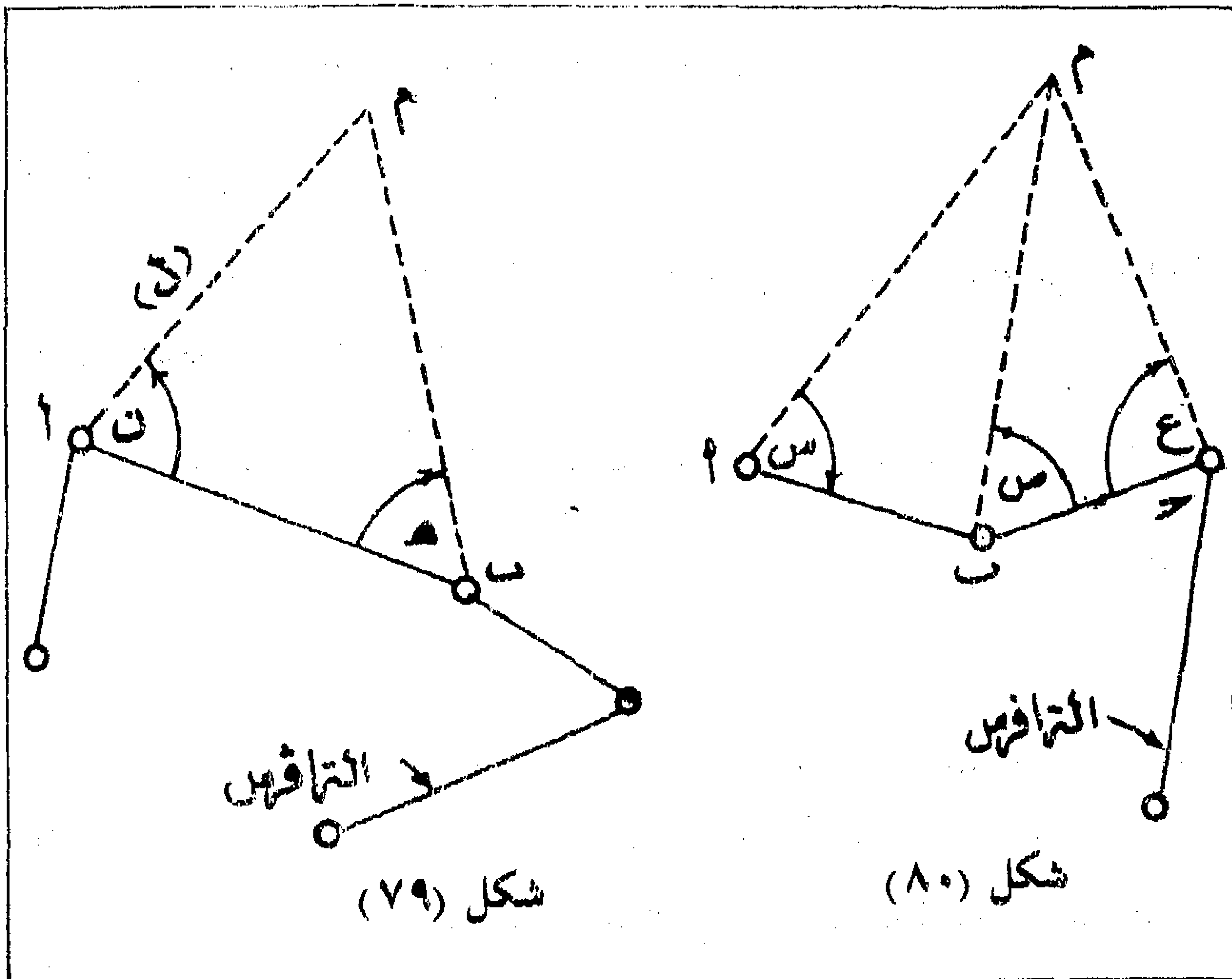
الطريقة الثانية

١ ــ قياس الزوايا س ، ص ، ع من ثلاث نقط من نقط الترافرس شكل (٨٠) .

٢ ــ يحل كل من المثلثين ا ب م ، ب حـ م بمعلومية ا ب ، ب حـ ، والزوايا س ، ص ، ع .

٣ ــ نحسب طول م ب من كل من المثلثين فيجب ألا يزيد الفرق بينهما عن ٣٠ سنتيمتر ثم يؤخذ المتوسط ، وهذا المتوسط للضلع المشترك ، والأطوال المحسوبة للضلعين ا م . م حـ تستعمل كما لو كانت مقاسة مباشرة من الغيط .

٤ ــ نحسب إحداثيات م من كل من المثلثين ا ب م ، ب حـ م ونأخذ المتوسط .



شكل (٧٩)

شكل (٨٠)

الباب الحادى عشر
ترافرسات المساحة التفصيلية
المدن والأرياف

الترافرس هو حلقة الإتصال بين أعمال المثلثات وبين أعمال المساحة التفريدية .

غراض ترافرس المساحة التفصيلية :

١ ــ إنشاء عدد كاف من علامات المساحة فى الأماكن المناسبة لقياس الزوايا والأبعاد بواسطة التيودوليت والشريط لتعيين حدود الأحواض والأملاك والمساكن والمنافع بأنواعها .

٢ ــ تثبيت علامات المساحة من أى نوع بطريقة مضبوطة (الربط بنقط المثلثات) .

أنواع الترافرس :

١ ــ ترافرس المدن :

وهو تثبيت النقط التى توضع فى المدن والبنادر المختلفة والقرى الكبيرة لتساعد على تكوين الخرائط التفصيلية للمدن التى تعمل بمقياس ١ : ٢٠٠ وهو أكثر أنواع الترافرس دقة .

٢ ــ ترافرس المنافع :

وهو تثبيت العلامات التى توضع للمنافع العمومية كمجارى المياه من ترع ومصارف والطرق الزراعية وجسور السكك الحديدية وجسور النيل وكذا الجبانات والبرك والمستنقعات وتلال الأتربة وغيرها لتساعد على تكوين لوح خاصة بكل مشروع .

٣ ــ ترافرس الأرياف (الحياض)

وهو تثبيت العلامات التى توضع لحدود الأحواض والتفاصيل الداخلية والمعالم الطبوغرافية لتساعد على تكوين خرائط المساحة التفصيلية التى تعمل بمقياس ١ : ١٠٠٠ .

١ ــ ترافرس الغيط

قبل البدء فى أعمال ترافرس أى مركز يجب البحث عن جميع نقط مثلثات ذلك المركز وتحديد المفقود منها بمعرفة مهندس المثلثات ، ويجب أن يكون هناك عدد كاف من نقط المثلثات لتكوين شبكة مثلثية يمكن استعاضة كل ضلع من أضلاعها بخط من الترافرس لا يزيد طوله عن أربعة كيلو مترات مع التعاريج ولذا يلاحظ أن أكبر طول لضلع المثلثات لا يزيد طوله عن ٢,٥ كيلو متر ، وإذا لم توجد نقط مثلثات كافية لهذا الشرط وجب وضع نقطة مثلثات درجة رابعة .

بعد إنتهاء المركز من أعمال المثلثات ترسل خرائط كدسترالية (تفصيلية) من المساحة التفصيلية للمساحة الطبوغرافية القائمة بأعمال الترافرس مبيناً عليها علامات التحديد التى وضعت على الطبيعة للأحواض والمعالم الطبوغرافية . والغرض من هذه الخرائط هو الإرشاد وترتيب الأعمال عليها .

يقوم المكتب الفنى بالمساحة الطبوغرافية ، عندما ترد الخرائط الكدسترالية إليه بتجهيز مجموعة بمقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ لهذا المركز أو المراكز مبيناً عليها جميع نقط المثلثات بجميع درجاتها مع كرتات وصف لنقط المثلثات للأستدلال على مواقعها وكذا جميع كروكيات المشروعات القديمة السابق رصدها وكرتات وصف نقطها وواقعة فى هذا المركز أو المراكز .

سير العمل :

يقسم المركز إلى مناطق على المجموعة ١ : ١٠٠,٠٠٠ بالنسبة لنقط المثلثات .

١ ــ **المنطقة** هى كل مسطح محصور داخل مثلث رؤوسه ثلاث نقط مثلثات من أى درجة ومبينة على المجموعة بشرط ألا يزيد ضلع المثلث المحدد للمنطقة عن ٢,٥ كيلو متر . ولا تعد المنطقة كاملة إذا كان الترافرس فيها مرتبطاً بأقل من ثلاث نقط مثلثات . ترقم المناطق على المجموعة بأرقام مسلسلة من ١ حتى نهاية المركز شكل (٨١) . ويبدأ العمل فى أى منطقة من المناطق السابق ترتيبها على المجموعة . يبحث أولاً عن الثلاث نقط مثلثات التى تحددت بها هذه المنطقة ثم توزع عليها شواخص خشبية من طول أربعة أمتار (إذا كانت النقطة فوق سطح منزل) أو خمسة أمتار إذا كانت النقطة على الأرض .

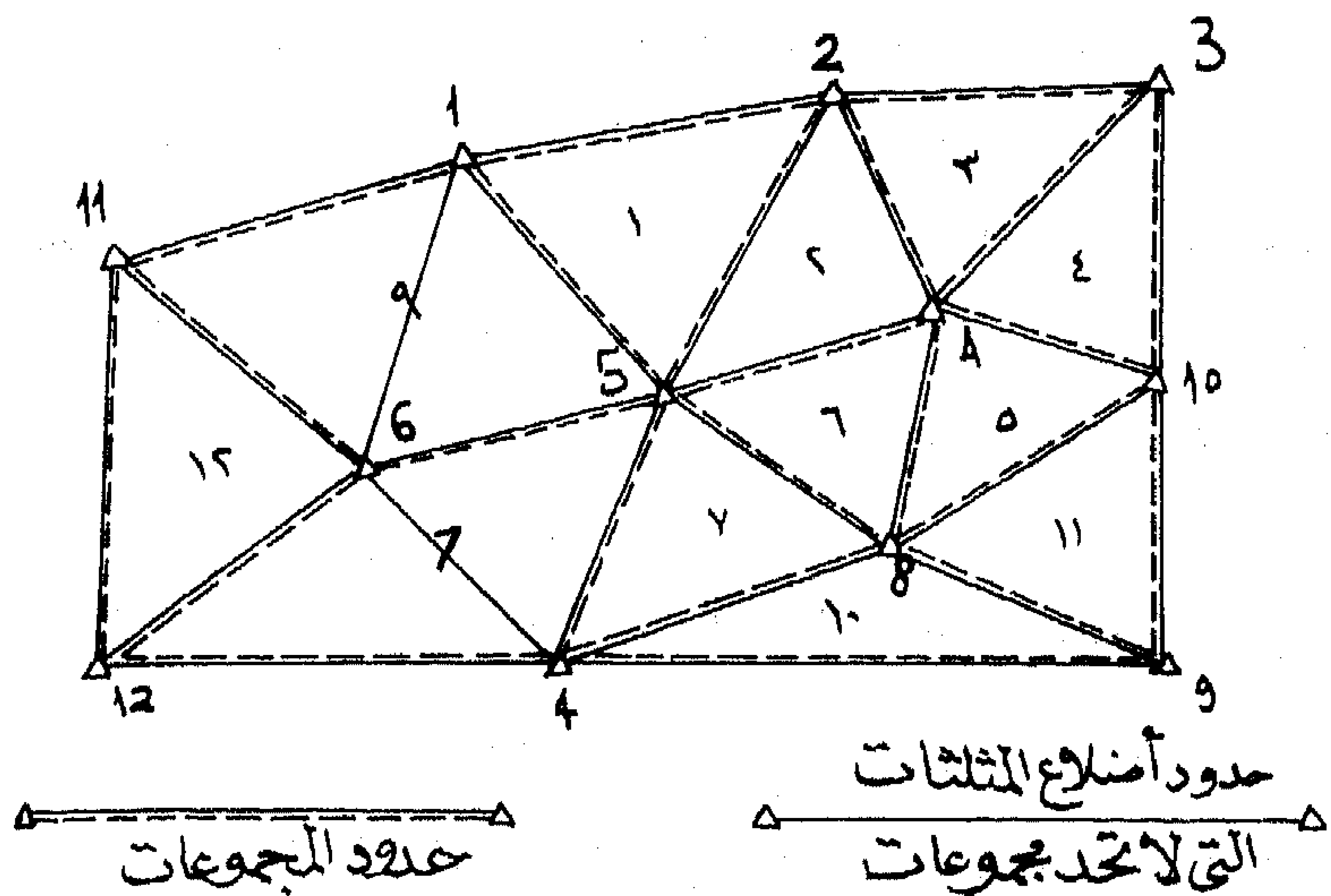
٢ ــ إذا كانت نقطة المثلثات على الأرض يوضع الشاخص فى وسط الماسورة التى هى علامة نقطة المثلثات وضعاً رأسياً ويعمل له (التحبيش) اللازم بواسطة القش وشظايا الخشب الموجودة بالغيط .

٣ ــ إذا كانت نقطة المثلثات على سطح منزل فيوضع الشاخص فوق المسمار الموجود فى محور العلامة السطحية الخشبية ثم يثبت الشاخص رأسياً بواسطة سلك رفيع من ثلاث جهات على الأقل .

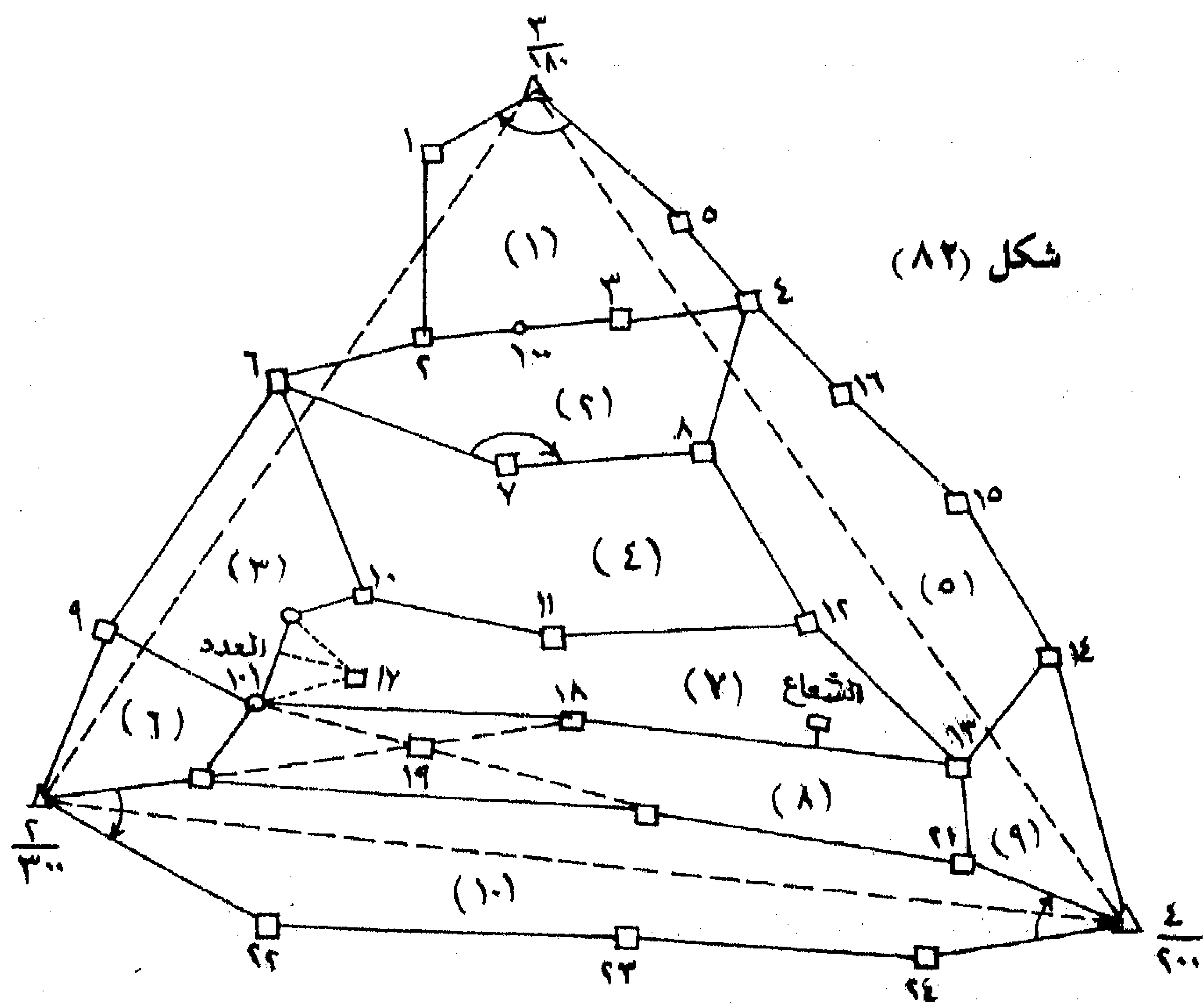
٤ ــ بعد ذلك يؤتى بالخرائط الكدسترالية ويوقع عليها نقط مثلثاتها وتوصل أضلاع بين هذه النقط وبعضها على نفس الخرائط الكدسترالية وبذلك تنحصر نقط التحديد المطلوب رصدها لهذه المنطقة .

تشكيل المنطقة بالمكتب

تشكل المنطقة من نقط التحديد التى أنحصرت فى المثلث ومن النقط التى تخرج عن المثلث بمقدار $\frac{١}{٤}$ طول ضلعه ثم تكون أشكال من هذه النقط بحيث لا يزيد طول الشكل عن ٧٠٠ متراً وعرضه عن ٥٠٠ متراً شكل (٨٢) ويجب أن تكون هذه الأشكال فى مجموعها متصلة بنقط المثلثات المكونة لهذه المنطقة ثم ترقم هذه الأشكال مسلسلة حسب مواقعها بالتجاور بأرقام ذات حجم


حدود أضلاع المثلثات
التي لا تحد مجموعات
حدود المجموعات

شكل (٨١)


شكل (٨٢)
العدد
الشعاع

مميز ، وبعد ذلك ترقم علامات التحديد بأرقام مسلسلة لتلك الأشكال مبتدئاً بشكل ١ ، ٢ ، ٣ على التوالى حتى نهاية المنطقة .

استكشافات المنطقة والتعليمات الواجب أتباعها :

١ ــ يجب أن تكون الأضلاع الواصلة ببعضها قريبة ما أمكن من التفاصيل الرئيسية التى ستقوم بمساحتها المساحة التفريدية .

٢ ــ يجب أن تربط كل نقطة ترافرس فى منطقة ما مباشرة أو غير مباشرة بنقطتين على الأقل من نقط مثلثات المنطقة الثلاث .

٣ ــ يجب ألا يقل طول ضلع الترافرس عن ٣٠ متراً ، وإذا تعذر ذلك يجب تقوية هذا الضلع بزاوية تقوية وهى حصر الضلع القصير فى المثلث كما فى شكل (٨٣) والغرض من ذلك هو الحصول على طريقة دقيقة لتعيين الأحداثى .

٤ ــ يجب ألا يزيد ضلع الترافرس عن ٤٠٠ متر .

٥ ــ إذا كان ضلع الترافرس طويلاً ودعت الضرورة لإيجاد نقطة أو أكثر على الضلع فتثبت على ١٨٠° وذلك بواسطة التوجيه بالتيودوليت بإحتلال إحدى نهايتى الضلع الأصلى ونعين هذه النقط أثناء قياسه مع قياسه مرتين شكل (٨٤) إحداهما فى الذهاب والأخرى فى الإياب ولا داعى لرصد هذه النقط .

٦ ــ طرق تثبيت النقط التى لا يمكن احتلالها بواسطة التقاطع :

ا ــ الطريقة الأولى : تثبيت النقطة بالتقاطع من أربع نقط أخرى رئيسية بدون قيد ولا شرط شكل (٨٥) .

ب ــ الطريقة الثانية : تثبيت النقط بالتقاطع من ثلاث نقط بشرط أن تكون أشعة التقاطع الثلاث تعمل زوايا عند نقطة التقاطع لا تقل كل منها عن ٣٠° ولا تزيد عن ١٥٠° شكل (٨٦) .

حـ ــ الطريقة الثالثة : تثبت النقطة بالتقاطع من نقطتين فقط بشرط قياس الضلعين الواصلين إليها من الخط الأصلى وألا تقل كل زاوية من زوايا المثلث عن ٣٠° شكل (٨٧) .

٧ ــ طريقة ربط علامة تحديد بخط الترافرس :

فى حالة ما إذا كانت العلامة على بعد أقل من ١٤ متراً من خط الترافرس تربط العلامة برصد زاوية تسمى (زاوية الشعاع) يكون صفرها من الضلع المراد تثبيتها عليه ، وعمود وطوله وبعد الشعاع .

ففى شكل (٨٨) الخط (10 - 17) وهو خط الترافرس والنقطة (1) هى العلامة المراد تثبيتها والزاوية الواقعة فى نقطة 10 بين 17 ، ١ هى زاوية الشعاع المقيس ، ١ ــ ٢ هو العمود .

٨ ــ طرق تثبيت نقطة بالشعاع :

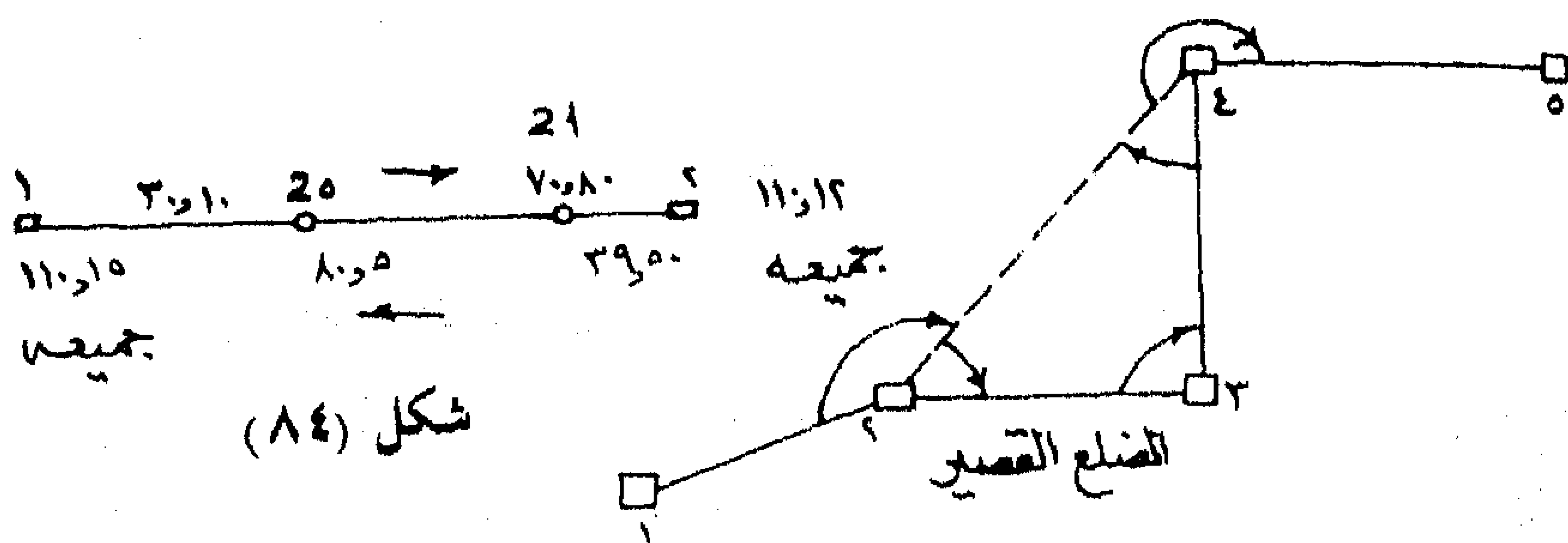
إذا لم يمكن رؤية نقطة ما إلا من نقطة واحدة فقط كالنقط التى توضع فى نهاية الأزقة وما شابه ذلك شكل (٨٩) فيجوز تثبيت مثل هذه النقط بطريقة الشعاع وذلك بالرصد على هذه النقطة وقياس ضلعها دفعتين ويشترط فى هذه الحالة إعادة العملية (الرصد والقياس) بمعرفة مهندس آخر وفى وقت آخر .

٩ ــ إذا تعذر قياس ضلع بين نقطة ترافرس وأخرى فيكتفى برصد زوايا مثلث يكون أحد أضلاعه الخط الذى تعذر قياسه وألا تقل كل زاوية من زواياه عن ٣٠° شكل (٩٠) .

١٠ ــ طريقة ربط أعمال الترافرس بنقط المثلثات :

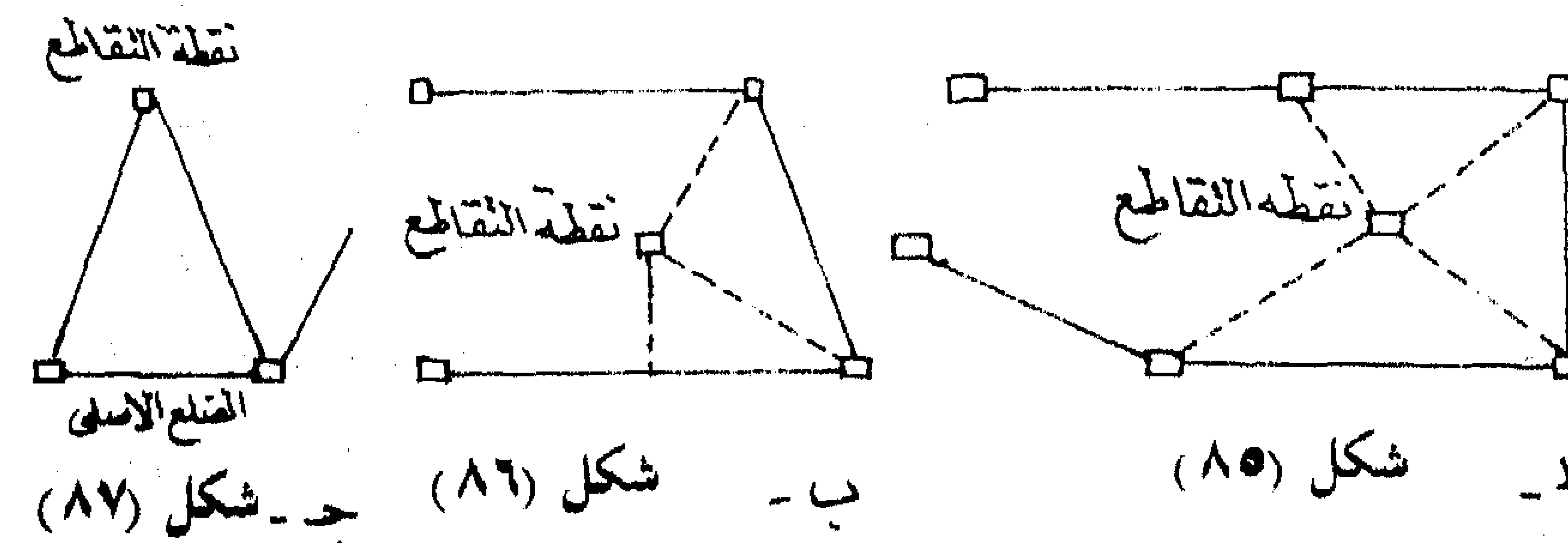
ا ــ الرصد والقياس إليها مباشرة (حينما تكون نقطة المثلثات على الأرض والقياس إليها سهلاً) .

فعند احتلال نقطة المثلثات لابد أولا من الرصد على نقطتى مثلثات أخرين

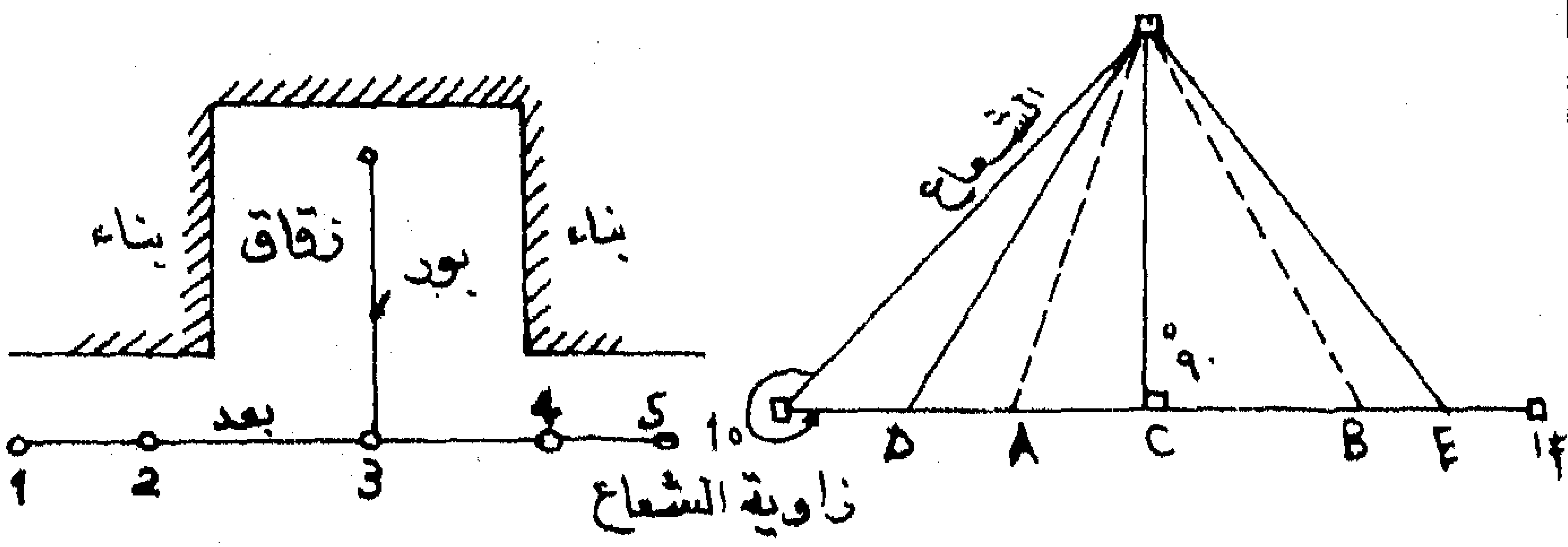


شكل (٨٤)

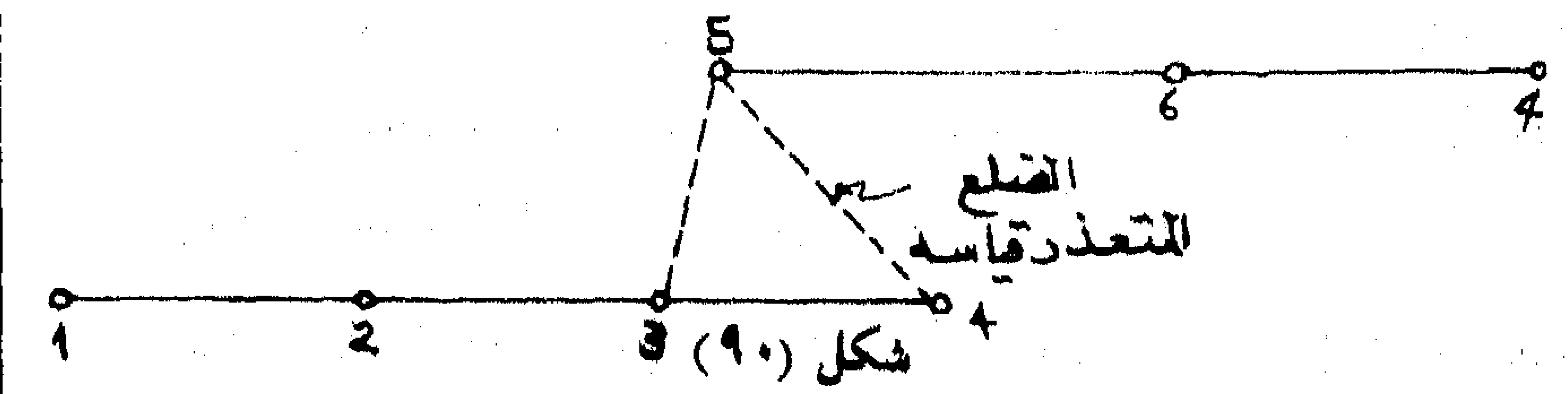
شكل (٨٣)



أ - شكل (٨٥)   ب - شكل (٨٦)   جـ - شكل (٨٧)



شكل (٨٨)   شكل (٨٩)



شكل (٩٠)

للتحقيق شكل (٩١) وثانياً يرصد على نقطة أو نقط الترافرس المطلوب ربطها بنقط المثلثات .

ب ــ بتشكيل مثلث من نقطتى ترافرس ونقطة المثلثات .

وتتبع هذه الطريقة فى حالة ما إذا تعذر القياس بالشريط بين نقطة مثلثات والترافرس كأن تكون نقطة المثلثات على سطح منزل أو على تل أو خلافه شكل (٩٠) بشرط ألا تقل إحدى زوايا المثلث عن ٣٠° مع ملاحظة رصد زوايا المثلث وقياس قاعدته ورصد نقطة المثلثات والرصد على نقطتى مثلثات أخريين للتحقيق شكل (٩٢) .

حـ ــ بطريقة الرصد من ثلاث نقط ترافرس .

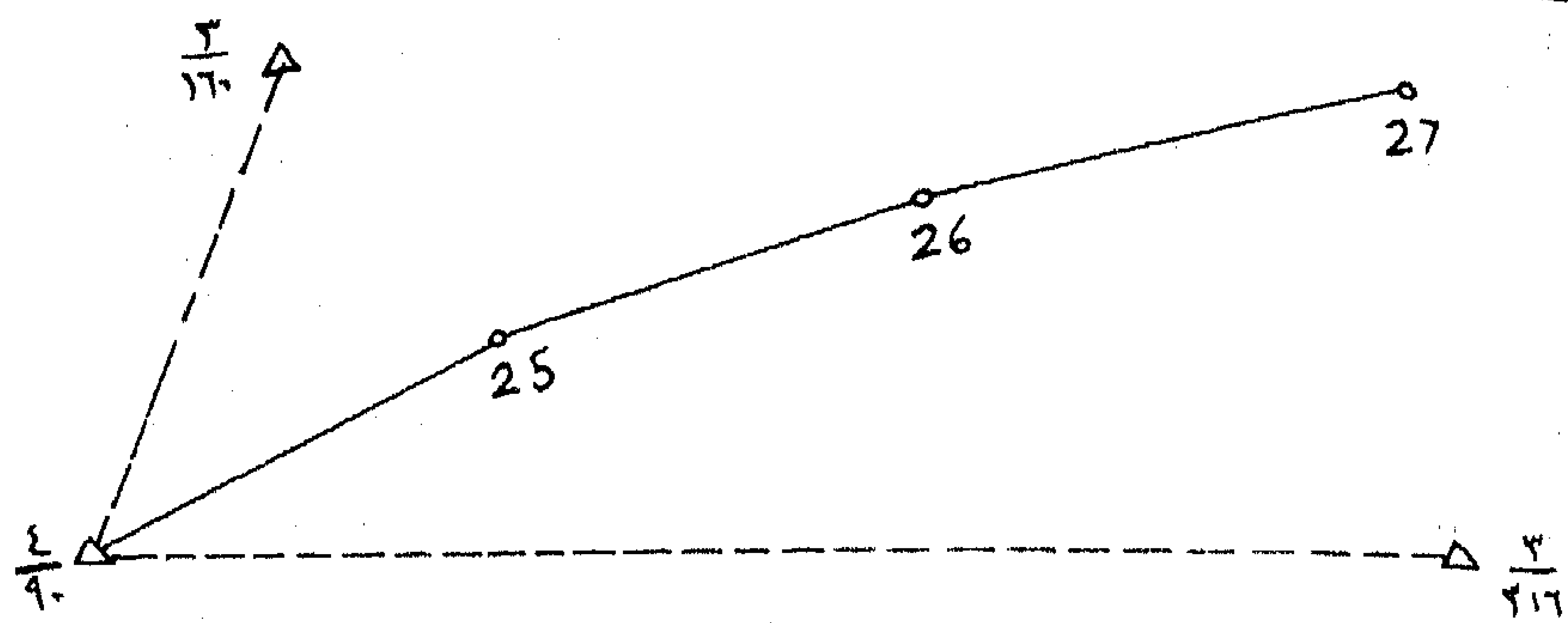
تستعمل هذه الطريقة فى حالة عدم إمكان إحتلال نقطة المثلثات كأن تكون قمة مئذنة جامع أو منارة . ففى هذه الحالة يجب تشكيل مثلثين متجاورين قاعدتهما ثلاث نقط ترافرس سبق رصدها ورأساهما نقطة المثلثات شكل (٩٣) بحيث لا تقل إحدى زواياها عن ٣٠° . ويشترط لهذه الحالة إنه عند رصد أى نقطة من الترافرس الثلاث هذه أن يرصد منها على نقطة مثلثات أخرى علاوة على نقطة المثلثات المطلوب الربط عليها للتحقيق .

١١ ــ كارتات الوصف :

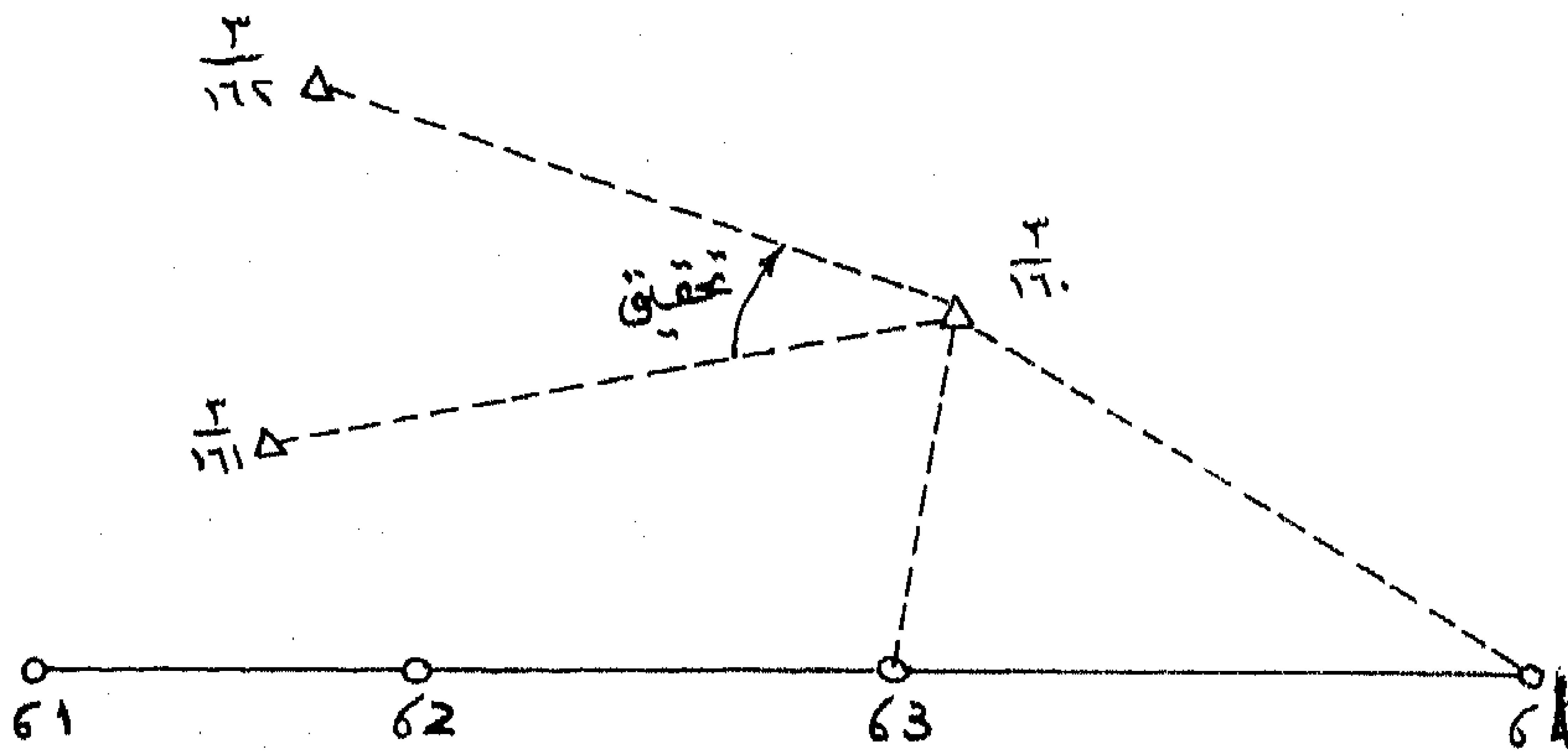
بعد وضع العلامات يعمل مهندس الترافرس كارتات وصف لكل علامة ويجب أن تكون واضحة تماماً يمكن بواسطتها إعادة وضع أى نقطة أزيلت من موقعها الأصلى ويجب .

أولاً ــ عمل رسم كروكى واضح مبيناً به موقع النقطة بالضبط بالنسبة لما يجاورها من التفاصيل مع أخذ أربع مقاسات أربطة على الأقل من أشياء ثابتة ومن المهم أخذ المقاسات بالنسبة لعرض الطريق أو الجسر أو المنفعة .

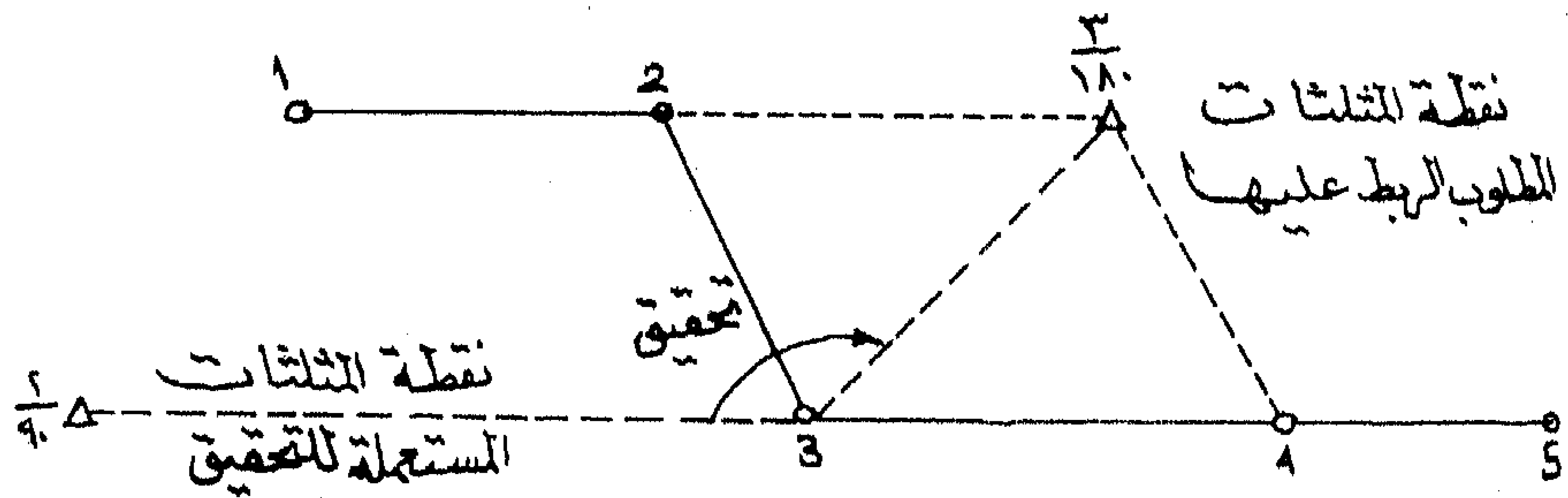
ثانياً ــ النقط التى توجد بالأراضى البور والصحارى والجبال حيث لا



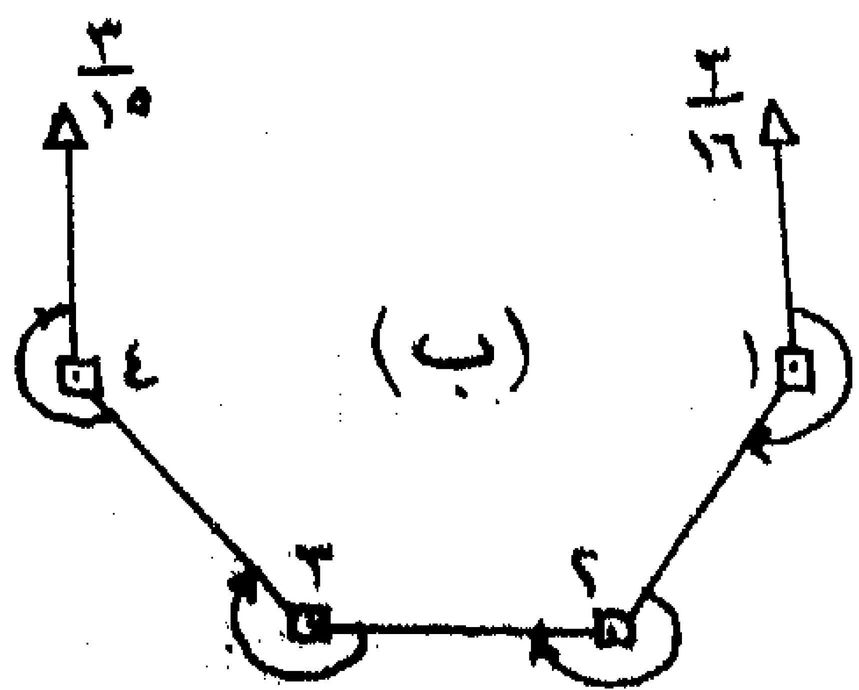
شكل (٩١)

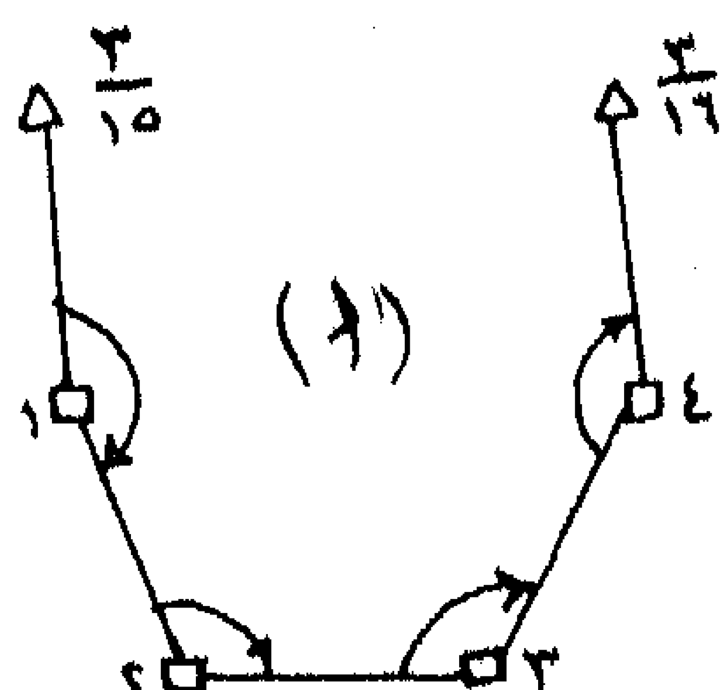


شكل (٩٢)



شكل (٩٣)





شكل (٩٤)

توجد بها تفاصيل أو معالم طبوغرافية لأخذ مقاسات منها يجب وضع الزوايا والأبعاد بهذه المنطقة أو النقطة على الكارت من النقط المجاورة لها .

ثالثاً ــ يستحسن ألا تزيد أبعاد الروابط عن ٢٠ متراً إلا عند الضرورة .

رابعاً ــ تعمل كارتات الوصف للنقط المساعدة (الزوايا الحديد) لوجودها تحت سطح الأرض أما علامات الترافرس (قضبان الحديد) فلا داعى لعمل كارتات لها حيث أنها ظاهرة على سطح الأرض بمقدار ٥٠ سم .

١٢ ــ ترتيب الخطوط بدفتر الرصد .

ا ــ ترتب نقط كل خط بالدفتر مبتدئاً من نقطة ثابتة ومنتهياً إلى نقطة ثابتة أخرى بآخر الخط ثم يبدأ بالخط يليه بالترتيب حتى نهاية المنطقة .

ب ــ قبل البدء فى رصد أى خط من خطوط المنطقة على الراصد أن يهيىء دفتر الرصد ويدون به أرقام النقط الواجب احتلالها وأرقام النقط الواجب الرصد عليها . فالنقط الواجب أحتلالها تدون بدفتر الرصد فى خانة (رقم رأس الزاوية) والنقط المرصود عليها تدون فى خانة (رقم النقط المرصودة) المجاورة لها .

حـ ــ تدون النقط المحتلة بحسب ترتيبها العددى المسلسل .

ء ــ يدون أمام النقطة المحتلة مقياس البعد الواقع بينها وبين النقطة الخلفية .

١٣ ــ ترتيب الزوايا بالدفتر :

يكون على حسب ترقيم الخط الذى يعمل معه دوران التيودوليت وقت القراءة فى الرصد اتجاه عقرب الساعة كما فى شكل (١٩٤ا ، ب) . ففى شكل (ا) عند احتلال نقطة ١ مثلاً يوجه أولاً على نقطة المثلثات $\frac{٣}{١٥}$ ثم على نقطة ٢ . أما فى شكل ب فعند احتلال نقطة ا يوجه على نقطة المثلثات $\frac{٣}{١٦}$ ثم على نقطة ٢ .

١٤ ـ جميع النقط التى تقع بمحيط المنطقة يجب رصد زواياها الداخلية .

١٥ ـ يجب قياس طول كل ضلع ترافرس وتحقيقه . واحدة عند الأستكشاف (مقاس أول) والثانية عند الرصد (مقاس ثانى) ويجب ألا يزيد الفرق بين المقاسين عن ٥ سم فى كل ١٠٠ متر .

١٦ ـ رسم كروكى للمنطقة :

ا ـ بعد انتهاء المهندس من رصد جميع نقط المنطقة ومراجعة دفاترها تستخرج صورة على شفاف من واقع اللوح الكدسترالية ذات المقاس الكبير لترفق بدفاتر الأرصاد الخاصة بهذه المنطقة ويجب أن يعين على الكروكيات نقط المثلثات المكونة لهذه المنطقة وكذلك نقط الترافرس جديدة كانت أو قديمة وأرتباطها ببعض وأيضاً حدود النواحى كما يجب التمييز بين الخطوط التى رصدت فقط بأن تكون الأولى بخط كامل والثانية بخط مجزأ أما النقط السابق رصدها فتبين بالمداد الأسود والنقط الجديدة فتبين بالمداد الأحمر .

ب ـ أصطلاحات يجب مراعاتها فى رسم الكروكى وبيانها :

نقطة مثلثات تبين بالأسود : رسم مثلث بداخله نقطة .

نقطة تحديد المنطقة المجاورة السابق رصدها : رسم مستطيل صغير بداخله نقطة .

نقطة مساعدة للمنطقة المجاورة السابق رصدها : رسم دائرة صغيرة بداخلها نقطة .

نقطة تحديد المنطقة الجديدة تبين بالأحمر : رسم مستطيل صغير (طوله الأكبر رأسى) بداخله نقطة .

نقطة مساعدة للمنطقة الجديدة تبين بالأحمر : رسم دائرةصغيرة .

حـ ـ يعمل كروكى بمقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ بموقع هذه المنطقة بالنسبة لنقط المثلثات وأضلاعها .

ء ــ فى حالة عدم وجود خرائط كدسترالية للمنطقة يعمل كروكى لها بعد رصدها بالزوايا والأبعاد .

هـ ــ يراجع دفتر أرصاد المنطقة على الكروكى مراجعة دقيقة حتى إذا وجدت نقطة مرصودة وسقطت من الكروكى تبين به وكذا إن وجدت نقطة أو بُعد بالكروكى ولم ترصد ولم يقاس بعدها فيحتم ذلك بالضبط قبل إرسال المنطقة .

II ــ ترافرس المنافع العمومية

ترافرس مجارى المنافع العمومية هو تثبيت النقط التى تحد أملاك الحكومة من الجانبين وفصلها عن أملاك الأهالى . وهذه المجارى إما أن تكون قديمة ومطلوب تجديد عروض هذه المنافع إما على حسب عروض مجراها الطبيعى أو على حسب أرانيك المشروعات .

والمنافع العمومية على وجه الأجمال هى المسطحات التى نُزع أو ستنزع ملكيتها للصالح العام .

أنواع المنافع :

١ ــ الرياحات والبحار .
٢ ــ الترع العمومية .
٣ ــ المصارف العمومية .
٤ ــ جسور النيل وجسور الحوض الخاص بالحياض .
٥ ــ الطرق الزراعية والسكك الحديدية .
٦ ــ مشروعات مبانى الحكومة كالمدارس والمستشفيات وغيرها .
٧ ــ البرك والمستنقعات ومناطق الأتربة .

سير العمل فى ترافرس المنافع :

١ ــ تقوم المساحة التفصيلية بتحديد ما يطلب من المنافع وإثبات علامات

تحديده على خرائط كدسترالية وترسل هذه الخرائط الكدسترالية لإدارة المساحة الطبوغرافية التى يقوم برصد علامات تحديد هذه المنافع .

٢ ــ عند ورود الخرائط الشاملة لعلامات تحديد المنفعة أى الطبوغرافية يقوم المكتب الفنى بتوقيع المشروع على خرائط ١ : ١٠٠,٠٠٠ مع وضع نقطة المثلثات التى تقوم حول المشروع المطلوب رصده وتجهيز الكارتات الخاصة لهذه النقط وكروكيات المشروعات القديمة السابق رصدها القريبة من المشروع .

تقسيم المشروعات إلى مناطق :

بعد أن يتسلم المهندس الخرائط والأوراق السابق ذكرها يقوم بتقسيم المشروع إلى مناطق ويعطى لكل منطقة رقم من وإلى نهاية المشروع بالتسلسل :

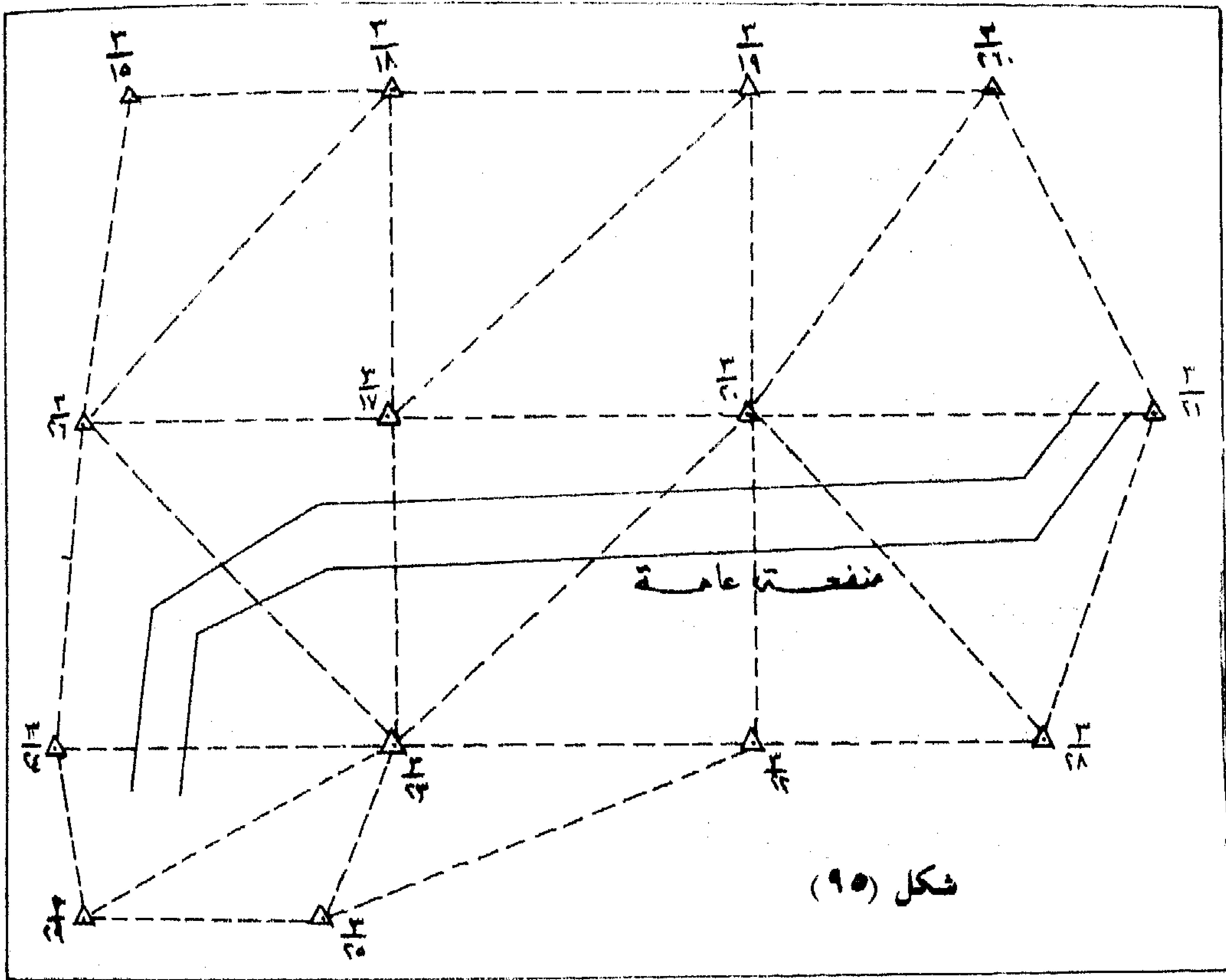
١ ــ المنطقة فى المنافع هى أن تبتدىء من نقطة مثلثات وتنتهى بنقطة مثلثات أخرى بشرط ألا يزيد طولها عن ٤ كيلو متر مع التعاريج فى شكل (٩٥) .

منطقة (١) ابتداء من نقطة المثلثات $\frac{٣}{١٧}$ وتقفل على النقطة $\frac{٣}{٢٤}$ منطقة (٢) من آخر نقطة ترافرس منطقة (أ) وتقفل على نقطة مثلثات $\frac{٣}{٢٠}$ وهكذا حتى ينتهى المشروع منطقة منطقة حتى تقفل المنطقة الرابعة على نقطة المثلثات $\frac{٣}{٣٠}$.

الاستكشاف :

بعد تقسيم المشروع إلى مناطق يقوم المهندس أولا بتوزيع الشواخص على نقط المثلثات اللازمة لربط ترافرس المشروع ويحقق نقط المثلثات فى بدء ونهاية كل منطقة ثم يبدأ أستكشاف نقط تحديد المنطقة والاستكشاف فى المنافع يختلف بأختلاف عروضها وطبيعتها وهى تنحصر فيما يلى :

١ ـــ منافع عروضها أقل من ١٢ متراً .
٢ ـــ منافع عروضها أقل من ٤٠ متراً .
٣ ـــ منافع عروضها تنحصر بين ٤٠ ، ٦٠ متراً .
٤ ـــ منافع عروضها تزيد عن ٦٠ متراً .
٥ ـــ منافع مختلفة العروض والطبيعة .
٦ ـــ ترافرس مشروعات مبانى الحكومة والمستنقعات ومناطق الأتربة .



شكل (٩٥)

الطرق الواجب أتباعها فى تثبيت علامات تحديد المناطق

أولاً ــ تثبيت علامات تحديد المنافع التى تقل عروضها من ١٢ متراً :

ا ــ السكك الحديدية والطرق الزراعية وجسور النيل .

إن أمكن أخذ المقاسات الطولية والعرضية لمنفعة ما فتثبت العلامة لهذه المنطقة بواسطة العمود فقط على خط ترافرس يوضع وسط المنفعة مع رصد زوايا هذا الخط المعتاد كما هو موضح فى شكل (٩٦) وإذا تعذر مقاس بعد بين نقطتين لوجود عائق بينهما كشجرة أو خلافه فيتبع فى ذلك إحدى الطريقتين الآتيتين :

١ ــ أن يمد خط إختيارى من إحدى النقطتين مفادياً العائق ثم يسقط عليه العمود من النقطة الأخرى شكل (٩٧) ويقاس البعد بين النقطتين بالحساب .

٢ ــ أن يمد خط إختيارى يفادى النقطتين شكل (٩٨) ثم يسقط عليه عمودان من النقطتين فمقدار طول العمودين وبيان موقعى العمودين كافيان لمعرفة طول المسافة بين النقطتين بالحساب .

ب ــ إذا لم يمكن أخذ المقاسات الطولية والعرضية لمنفعة ما فتثبت علاماتها بالعمود وقراءة زاوية الشعاع على خط ترافرس يوضع فى وسط المنفعة كما فى شكل (٩٩) .

ثانياً ــ تثبيت علامات تحديد المنافع التى يقل عرضها عن ٤٠ متراً :

ا ــ إذا كانت علامات تحديد المنفعة تكشف بعضها بعضاً من الداخل فنتبع فى الرصد أولاً قراءة زاوية خط للشمال ثم زاوية التكملة ، ثم زاوية القطاع العرضى ويدون بدفتر الرصد بهذا الترتيب مع قياس الأضلاع طولاً مرتين وتدوينها بدفتر الرصد أما المقاسات العرضية فتقاس مرتين وتدون باستمارة القطاعات العرضية والطولية .

شكل (٩٦)

شكل (٩٧)

شكل (٩٨)

شكل (٩٩)

فى شكل (١٠٠) فى النقطة (٤) زاوية I هى زاوية خط الشمال ، وزاوية II هى الزاوية التكميلية ، زاوية III هى زاوية القطاع العرضى أو الزاوية القائمة .

ملحوظة ــ ١ ــ خط الشمال أو قطر الشكل هو الحصول على طريقة دقيقة لتعيين الأحداثيات فى الأحوال التى يكون فيها عروض المنفعة أقل من ٤٠ متراً .

٢ ــ إذا كانت المنفعة بعيدة عن نقط الرّبط (مثلثات أو ترافرس قديم) فنصل نقطة المشروع بنقط الربط بواسطة نقطة مساعدة أو أكثر سواء كانت فى بدء المنطقة أو إنتهائها مع ملاحظة أن يكون ترقيم النقط المساعدة بالأفرنجى وغير متشابهة مع نقط المشروع .

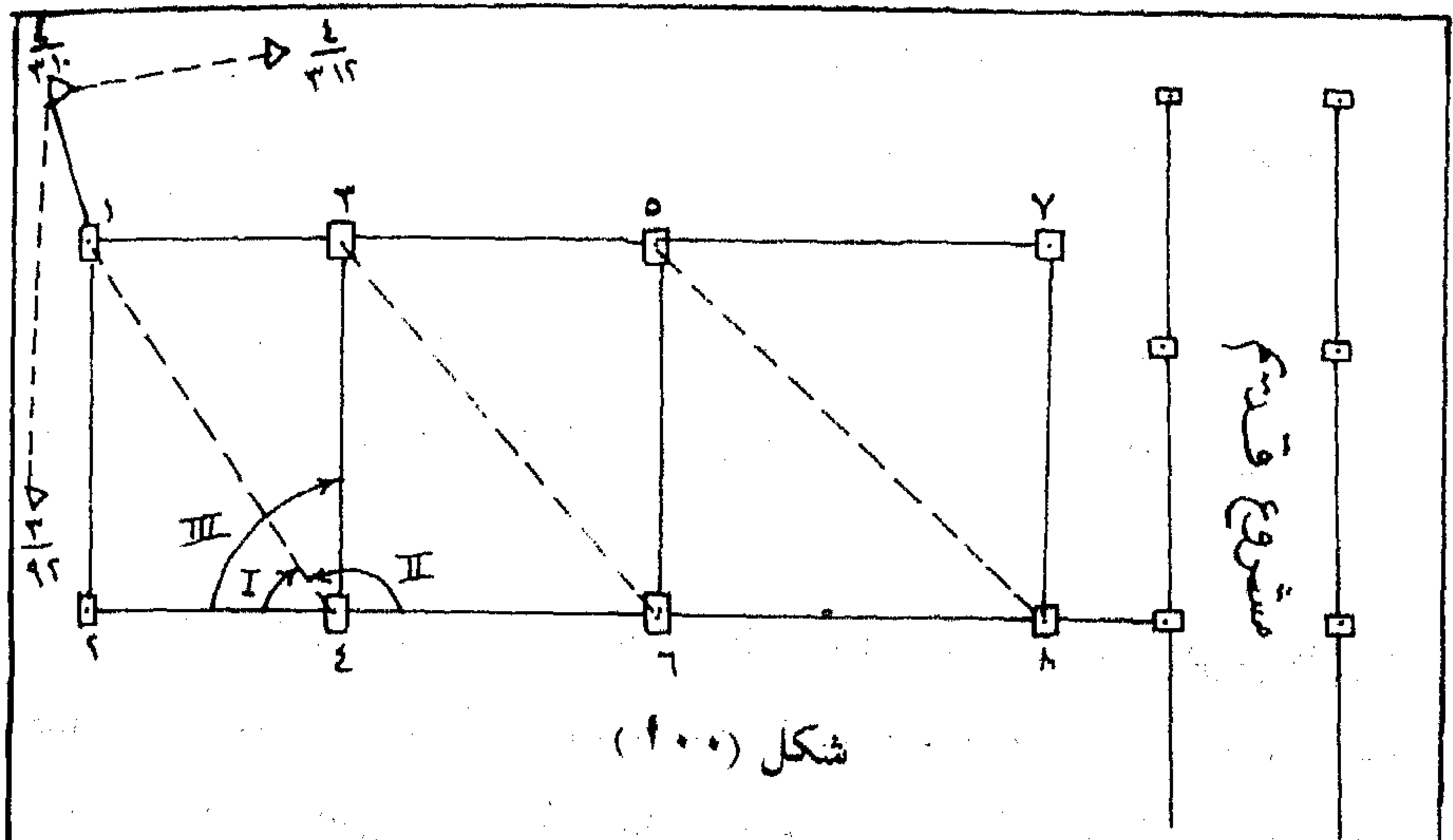
ب ــ وفى حالة ما إذا كانت علامات التحديد لا تكشف بعضها بعضاً من الداخل وكانت قريبة من جسرى المنفعة فيرى بالطبيعة أنه إذا وضع ترافرس مساعد على أحد الجسرين ورؤى أن يكشف علامات الجسر الثانى فيكتفى بوضع هذا الخط ونثبت عليه علامات التحديد المجاورة له بطريقة العمود وزاوية الشعاع ثم نتبع فى تثبيت علامات الجسر المقابل طريقة الأرصاد المتبعة كما فى شكل (١٠١) .

حـ ــ أما إذا رؤى أن وضع خط ترافرس مساعد على أحد جسرى المنفعة لا يكشف علامات تحديد الجسر المقابل فيوضع خط ترافرس آخر مساعد على هذا الجسر وتثبت علامات تحديد الجسرين على الخطين المساعدين بطريقة العمود وزاوية الشعاع شكل (١٠٢) .

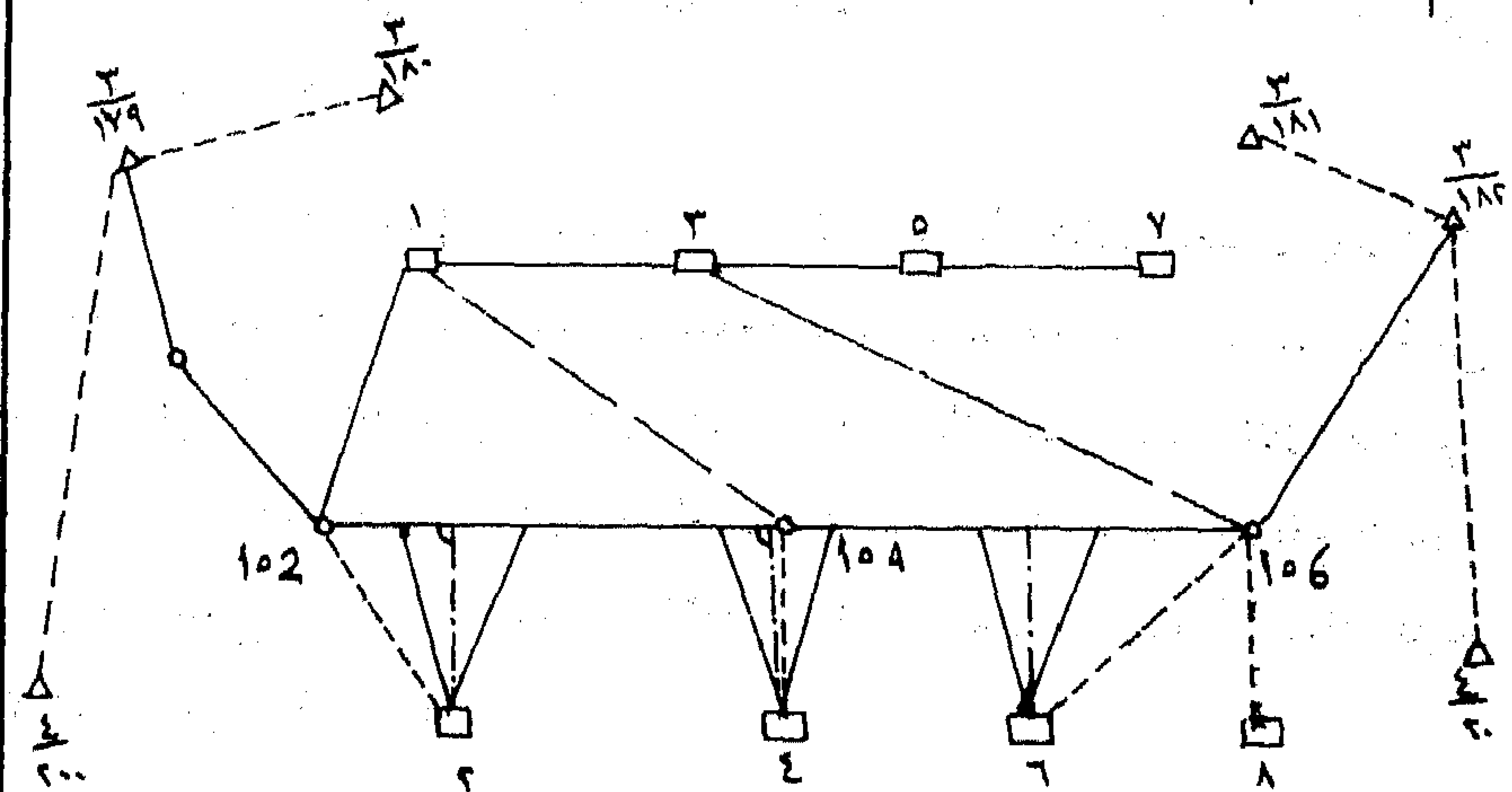
ثالثاً ــ تثبيت علامات المنافع التى تنحصر عروضها بين ٤٠ و ٦٠ متراً :

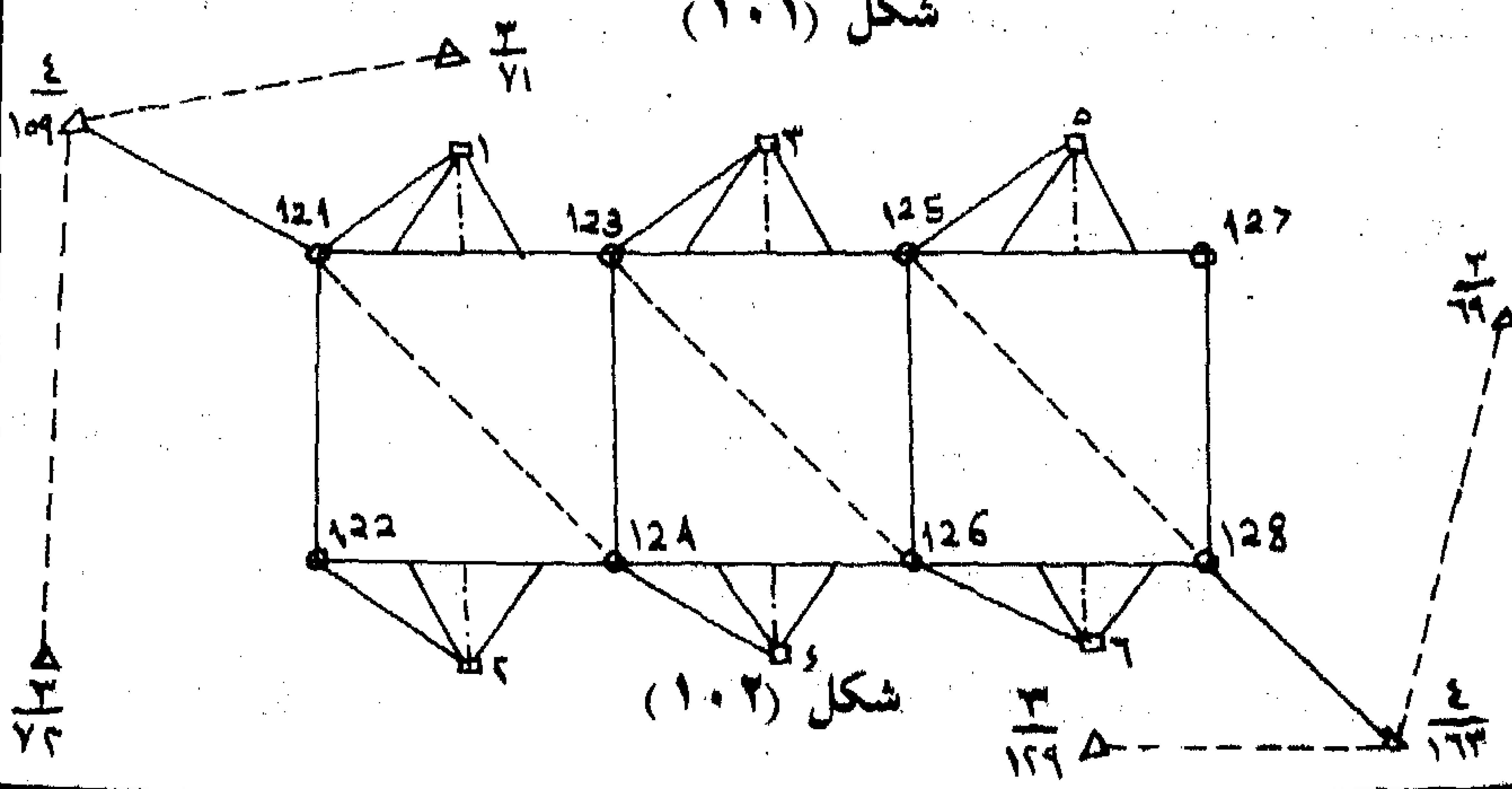
تثبيت علامات المنافع بهذه العروض بإحدى الطريقتين الآتيتين :

الطريقة الأولى ــ إذا كانت علامات المنفعة تكشف بعضها البعض من



شكل (١٠٠)


شكل (١٠١)


شكل (١٠٢)

الداخل فيتبع فى رصد علاماتها زاوية القطاع ثم التكملة (زاويتى خط القطاع) شكل (١٠٣) مع تدوين المقاسات الطولية بدفتر الرصد والمقاسات العرضية باستمارة الرصد .

الطريقة الثانية ــ عند عدم إمكان كشف علامات التحديد لبعضها البعض فتتبع فى الرصد الطريقة المستعملة فى رصد نقط الحياض بتكوين أشكال مع ملاحظة ربط الشاطئين ببعض على كل ٥٠٠ متر كما هو موضح فى شكل (١٠٤) .

ملحوظة : الربط إما أن يكون بتوصيل علامات التحديد مباشرة (بالرصد والقياس) أو بوضع نقطتين مساعدتين أو بتشكيل مثلث إذا تعذر القياس كما فى شكل (ب) .

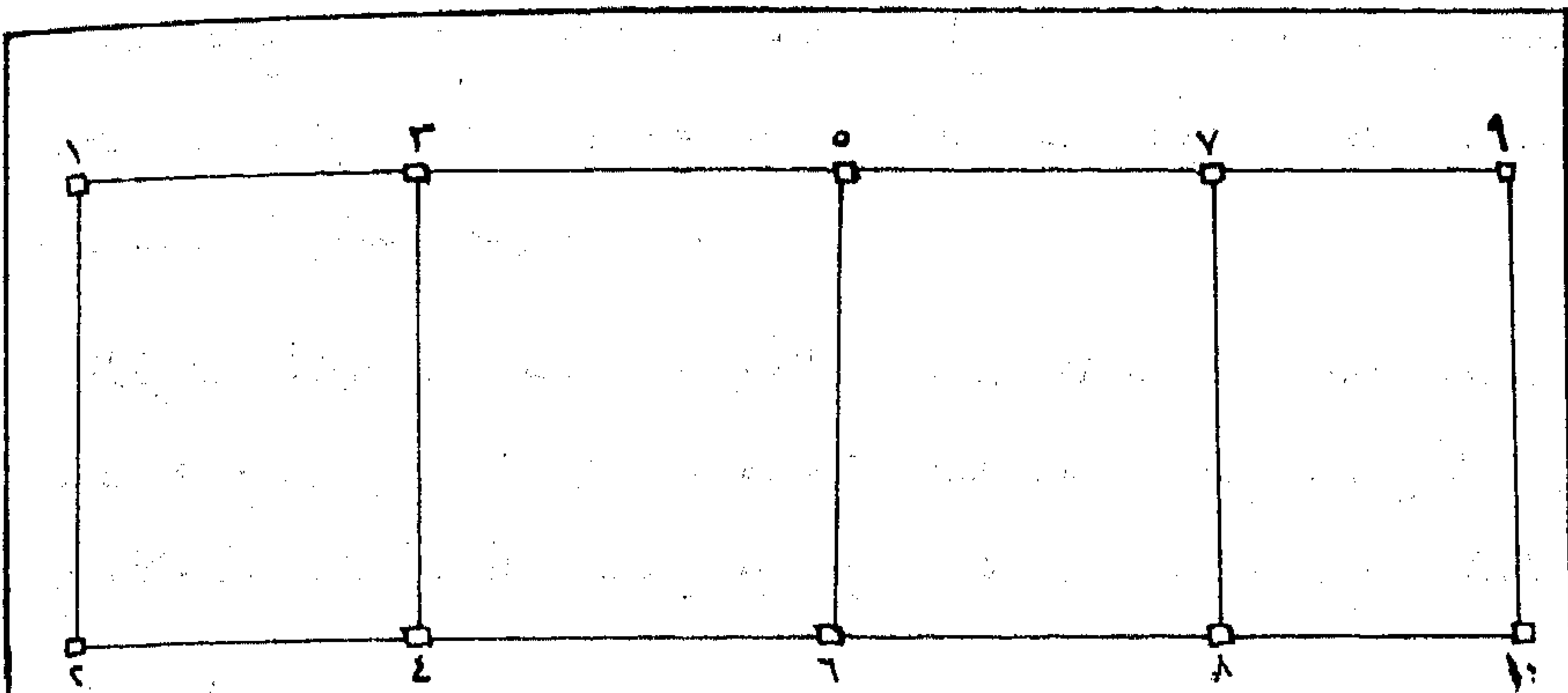
رابعاً ــ المنافع التى تزيد عروضها عن ٦٠ متراً :

يتبع فى تثبيت علاماتها ما سبق شرحه فى الحالة السابقة غير أنه فى الحالة الثانية من هذه الطريقة يكون الربط على ٧٠٠ متراً بدلاً من ٥٠٠ متر .

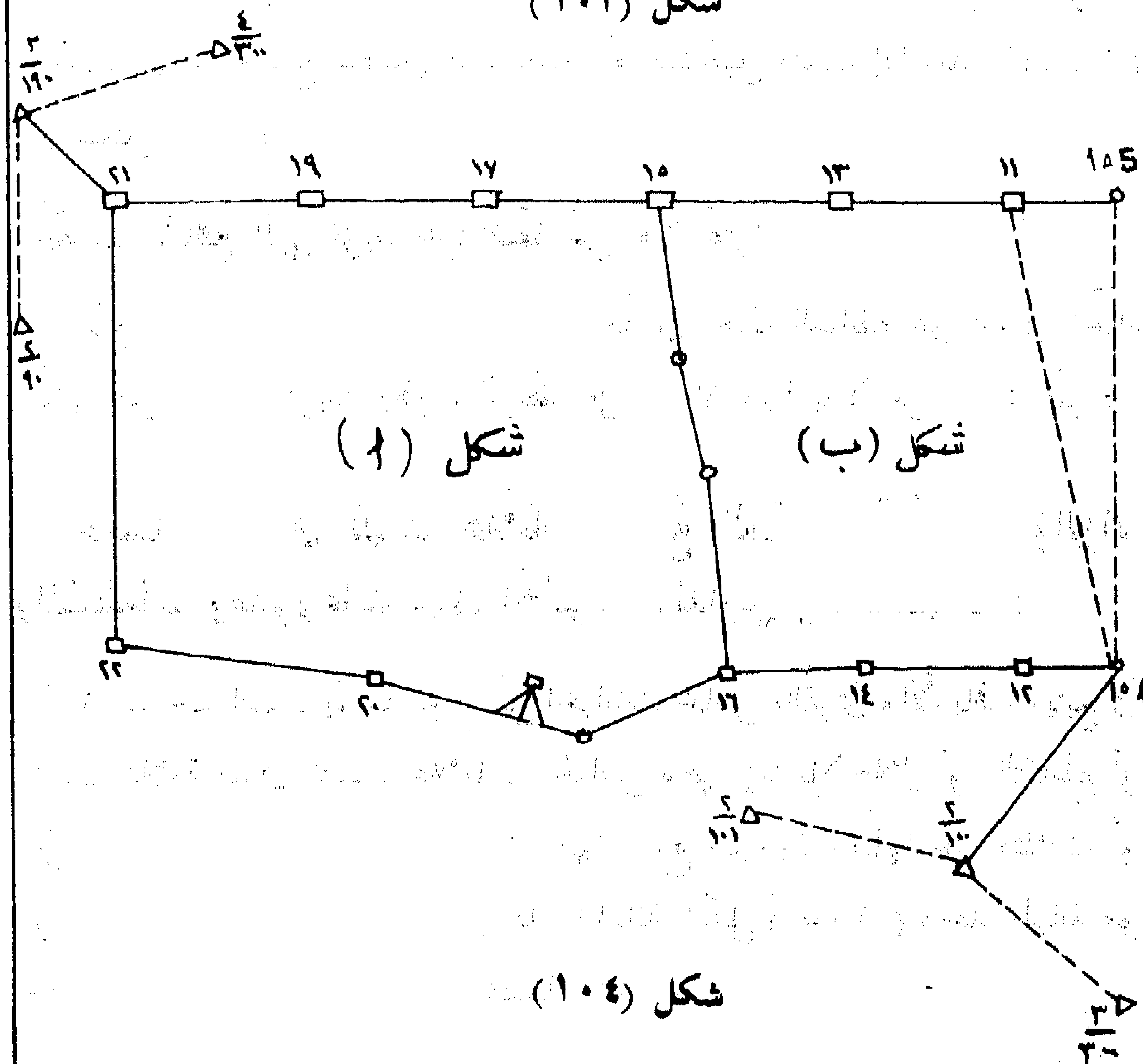
خامساً ــ طرق تثبيت علامات المنافع العمومية للجبانات والبرك والمستقعات ومشروعات مبانى الحكومة كالمدارس والمستشفيات :

١ ــ الجبانات : يوجد نوع من الجبانات خاص بالقرى والأرياف ويتبع فى تثبيت علامة طرق تثبيت علامات الحياض وهى إما بالإحلال أو بالتقاطع أو على ١٨٠° أو بالشعاع السابق شرحها . مع ضرورة ربطها على مثلثات أو ترافرس قديم من جهتين مختلفتين لهذه الجبانة شكل (١٠٥) وحد الجبانة هو من علامات التحديد التى من قضبان الحديد .

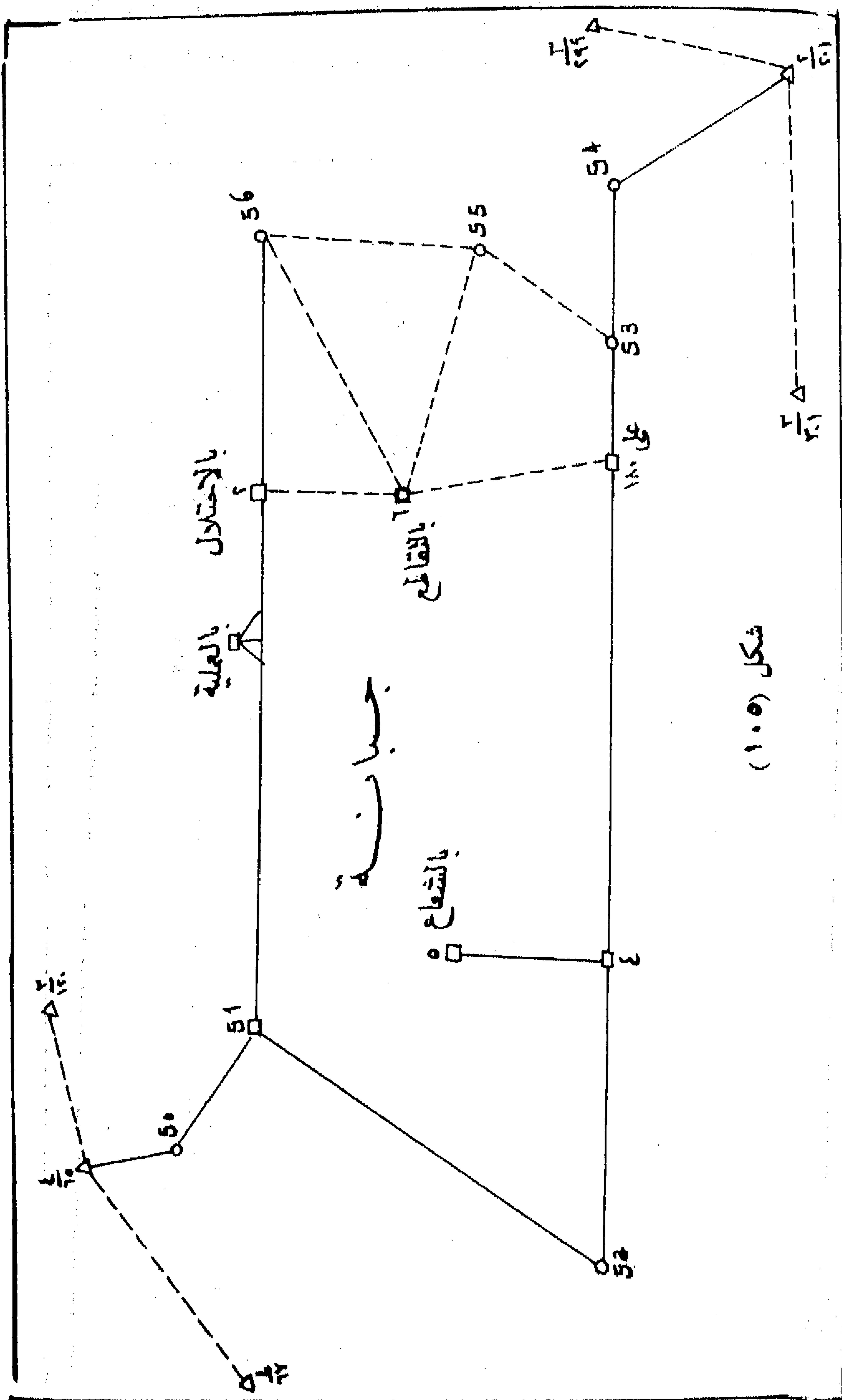
٢ ــ علامات تحديد مشروعات مبانى الحكومة كالمدارس والمستشفيات وكذا البرك والمستنقعات والتلال فيتبع فى تثبيتها نفس طرق تثبيت علامات جبانات القرى السابق شرحها . غير إنه إذا تعذر أحتلال النقط جميعاً أو



شكل (١٠٣)

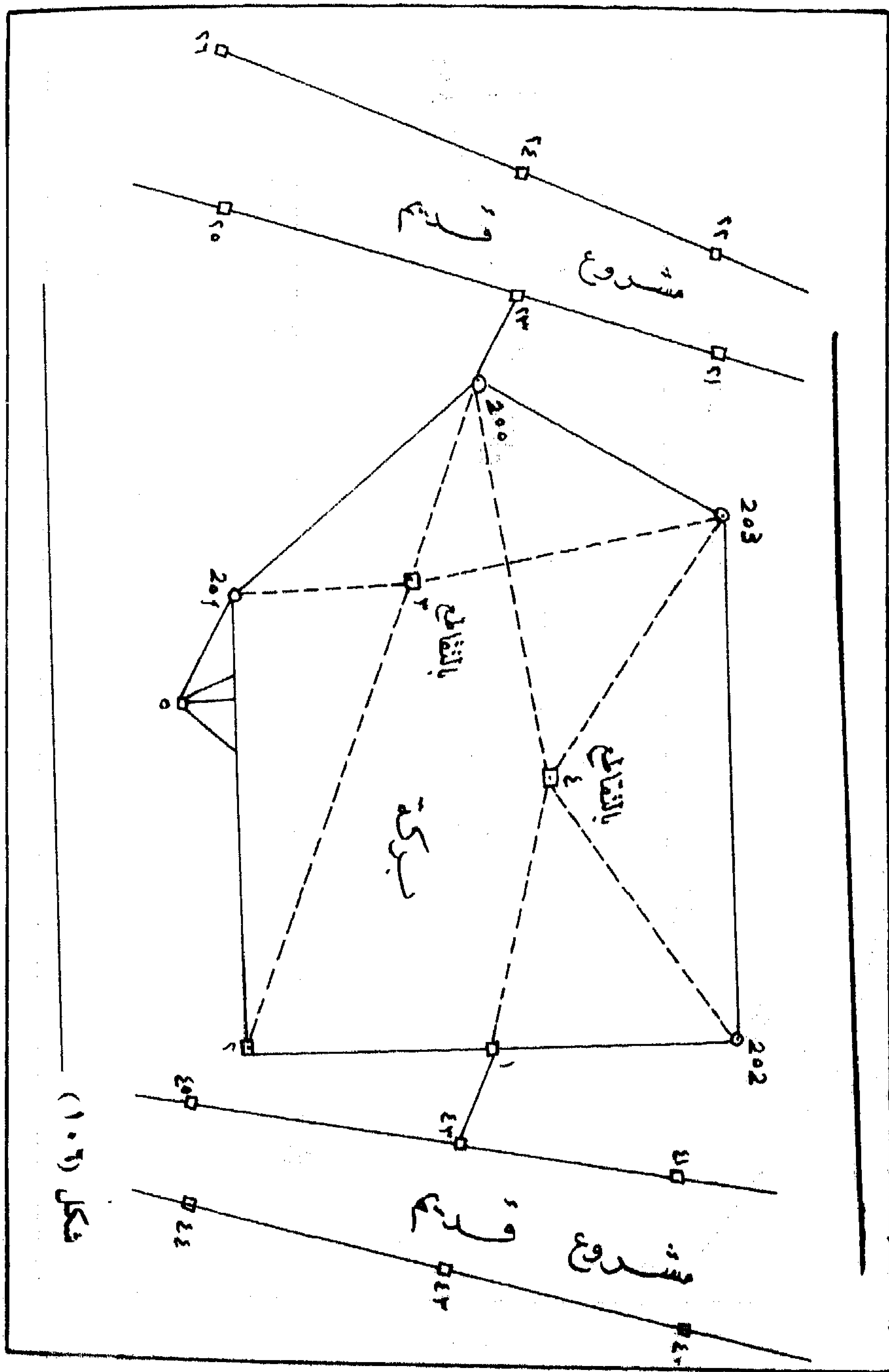


شكل (١٠٤)



شكل (١٠٥)

بعضها أو تعذر تثبيتها بالعملية فيوضع خط ترافرس خارج المنفعة وتثبيت العلامات بالتقاطع مع ضرورة ربطه على المثلثات أو الترافرس القديم شكل (١٠٦) .



شكل (١٠٥)

III ــ ترافرس المدن

تنحصر أعمال ترافرس المدن فيما يأتى :

١ ــ مثلثات المدن ولها شرح خاص .

٢ ــ نقط الترافرس الأصلية للمدن .

٣ ــ نقط الترافرس الفرعية للمدن .

١ ــ التجهيزات اللازمة لأعمال ترافرس المدن :

ا ــ ١ ــ خريطة مقياس ١ : ٢٥٠٠٠ مبين عليها نقط مثلثات البندر .

٢ ــ كارتات وصف نقط مثلثات البندر .

٣ ــ صورة بمقياس ١ : ١٠٠٠ لخريطة البندر إن وجد .

٤ ــ كروكيات الترافرس السابق وضعه بمناطق الحياض المجاورة البندر كروكيات الترافرس السابق وضعه للمنافع العمومية المجاورة البندر والداخلة فيه .

ب ــ تؤخذ خريطة ١ : ٢٥٠٠٠ المبين عليها نقط المثلثات وتقسم إلى مجاميع مع ترقيمها بأرقام مسلسلة مبتدئاً من رقم ١ كما شكل (٨١) ويلاحظ من الشكل أن المجموعة يمكن تعريفها بأنها هى كل مسطح محصور بين ثلاث نقط مثلثات فأكثر .

حـ ــ تبين نقط المثلثات على خريطة البندر ١ : ١٠٠٠ (وفى حالة عدم وجود خريطة يعمل كروكى بهذا المقياس بواسطة المنقلة من واقع دفاتر الرصد والمقاسات مجموعة فمجموعة) .

٢ ــ كيفية استكشاف نقط ترافرس المجموعة :

ا ــ يجب على المهندس القائم بأعمال ترافرس المدن أن يكون لديه الأدوات التالية : تيودوليت ــ ميزان وما يلزمهما من أدوات .

ب ــ بناء على التقسيم الذى عمل على خريطة ١/ ٢٥٠٠٠ السابق ذكرها ــ يبدأ بأستكشاف كل مجموعة على حدة بالطبيعة بحيث يبدأ بنقطة مثلثات وينتهى بنقطة مثلثات ــ وعلى شرط أن لا يخرج الترافرس المار بالشوارع المحددة للمجموعة عن ربع طول ضلع المثلث المار بأتجاهه .

حـ ــ توضع نقط الترافرس الأصلية بالشوارع الرئيسية المحيطة بالمجموعة مبتدئاً من نقطة مثلثات ومنتهياً بأخرى على جميع أضلاع مثلثات المجموعة ــ ثم توضع نقط أصلية بالشوارع النافذة داخل المجموعة لتكوينها إلى مضلعات بشرط أن يكون كل مضلع مرتبطاً مباشرة أو بنقطة أصلية من مضلعات أخرى بنقطتى مثلثات على الأقل .

ء ــ تدمج النقط القديمة سواء كانت من ترافرس الحياض أو المنافع المجاورة للبندر أو الداخلة فيه ضمن ترافرس البندر مع الأحتفاظ بأرقامها القديمة على أن تحقق النقط المندمجة عن نقط أخرى قديمة .

هـ ــ بما أن طول ضلع مثلثات المدن لا يزيد عن ٧٠٠ متر فيلاحظ أن طول خط الترافرس الأصلى لا يزيد عن كيلو متر واحد مع التعريج .

و ــ يجب وضع نقط أصلية كافية ليتيسر منها ربط الترافرس الفرعى عليها .

ح ــ نقط الترافرس يجب وضعها على جانب واحد من الشارع أو الحارة .

ط ــ لا داعى لمقاسات أضلاع الترافرس الأصلى أثناء وضع نقطة حيث أنها ستقاس عند عمل الميزانية .

ى ــ ربط الترافرس الأصلى بالمثلثات أما بواسطة الرصد والمقاس مباشرة ــ أن كانت نقط المثلثات على الأرض والمقاس إليها متيسر ــ وإما بواسطة تشكيل مثلث إن كانت نقط المثلثات فوق سطح منزل أو مأذنة مسجد أو تل أو ما أشبه ذلك ــ وفى حالة ما إذا كانت نقطة المثلثات فوق

سطح منزل وسط البندر وتعذر تشكيل مثلث ــ فنكتفى بربط خط الترافرس بنقطة المثلثات مباشرة بواسطة المقاس العادى والميزانية والمسقط وإيضاحاً لذلك :

أولاً ــ تبين نقطة المسقط بنهاية سطح المنزل على طول الضلع بين نقطة المثلثات ونقطة الترافرس بواسطة التوجيه بالتيودوليت .

ثانياً ــ يقاس البعد المحصور بين نقطة المثلثات ونقطة المسقط مقاساً عادياً .

ثالثاً ــ نسقط النقط بواسطة الأنبوبة الحديدية المعدة لذلك بواسطة خيط شاغول على الأرض مع وضع علامة لها .

رابعاً ــ يقاس البعد المحصور بين هذه العلامة ونقطة الترافرس بالميزانية وشريط الصلب بالطريقة المتبعة .

ك ــ ترقم نقط ترافرس المجاميع بأرقام مسلسلة فى كل البندر ولا يجوز تكرار شيء منها كما فى الشكل (١٠٧) .

ل ــ يلاحظ أن طول ضلع الترافرس الأصلى لا يزيد عن ٣٠٠ متر ولا يقل عن ٣٥ متراً فإن قل يعمل له زاوية تقوية فإن تعذر ذلك توضح الأسباب .

م ــ عند وضع الترافرس الأصلى يجب عمل كرتات لكل نقطة من صورتين لا تقل الروابط فيه عن ستة أوتار ــ إلا فى الجهات الفضاء فإنه يكفى بما لا يقل عن ثلاثة روابط .

أما فى الجهات الرملية والفيضانات الخالية من المعالم الطبوغرافية فإنه يكتفى بوضع الزاوية والبعد لكل نقطة موجودة مع تحبير الروابط .

ن ــ العلامات التى توضع بالشوارع تكون من زوايا حديد طول ٥٠ سنتيمتر أما فى الشوارع المرصوفة فتوضع فيها زوايا حديد من طول ٢٥

سنتيمتر فإن تعذر وضعها فيوضع طول ٦٠ سنتيمتر مع ملاحظة جعل زاوية العلامة على إتجاه البحرى وجعل قمة الزاوية تحت سطح الأرض حتى لا تضر المارة ولا يعبث بها .

س ـــ نكتب أرقام الترافرس بالبوية على الحائط المقابل لها أو القريب منها مع كتابة حرف ك (كبير) للدلالة على أنها نقطة أصلية .

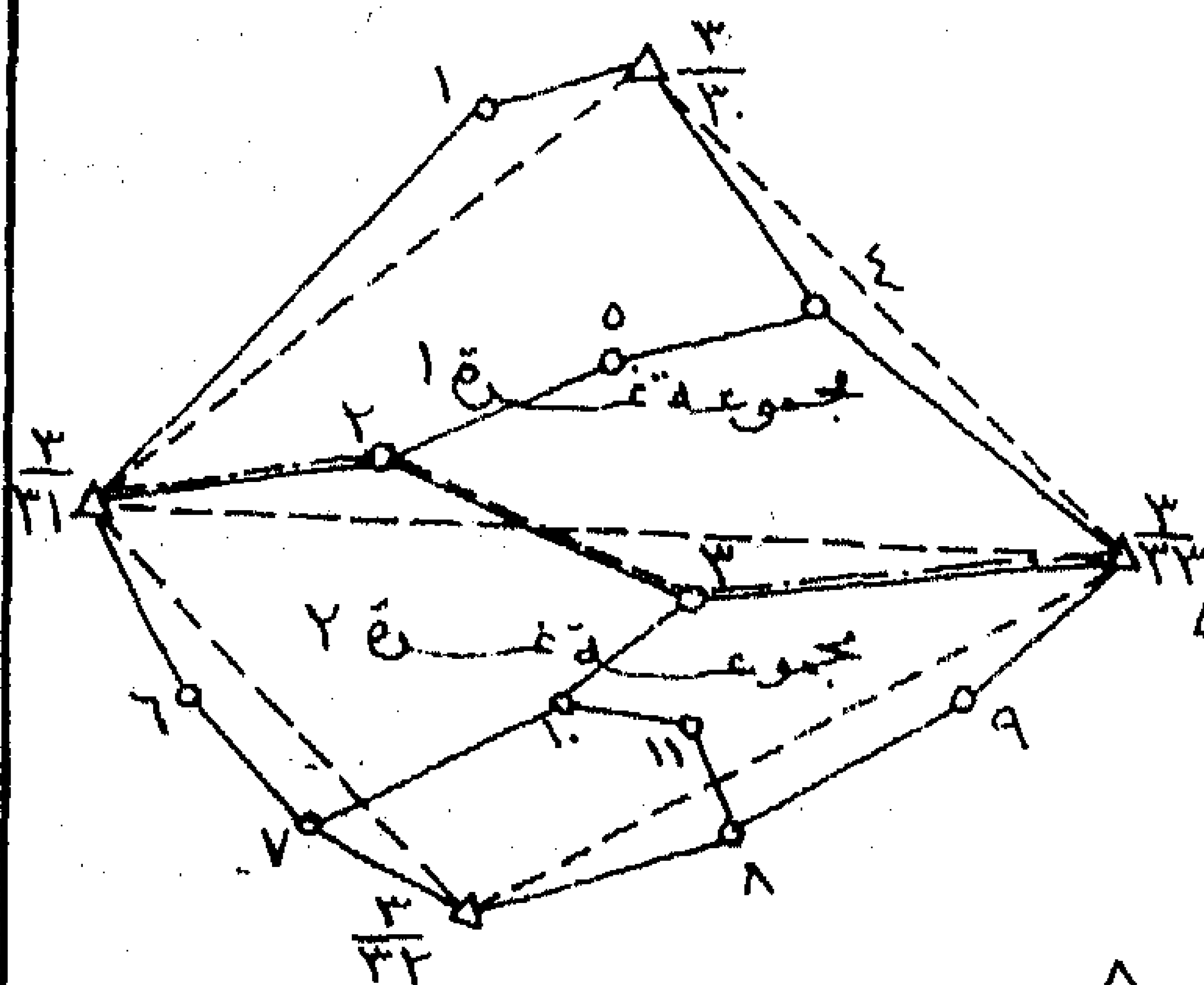
٣ ـــ ترتيب دفاتر الأرصاد للمجموعة

١ ـــ يبدأ بترتيب زوايا الأرصاد بالدفاتر لكل خط على حدة كما فى شكل (١٠٨) وإيضاحاً لذلك نبدأ أولا بزاوية التحقيق (1) فى نقطة المثلثات $\frac{٣}{١٨}$ ثم زاوية البدء بالخط رقم ١ وهى زاوية (2) ثم راوية الخط بنقطة ٣ وهى زاوية (3) ثم زاوية الخط ٢ وهى زاوية (4) ثم زاوية الخط بنقطة ٣ وهى راوية (5) ثم زاوية القفل بنقطة المثلثات $\frac{٣}{١٦}$ وهى زاوية (6) ثم زاوية تحقيق المثلثات وهى زاوية (7) وهنا ينتهى الخط ١ .

وترتيب زوايا الخط رقم ٢ فيبدأ بزاوية البدء بنقطة المثلثات $\frac{٣}{١٦}$ وهى زاوية (8) ثم زاوية الخط (9) . (10) إلى أن ينتهى القفل عند نقطة المثلثات $\frac{٣}{١٩}$ بزاوية (11) ثم زاوية التحقيق وهى (12) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٢ .

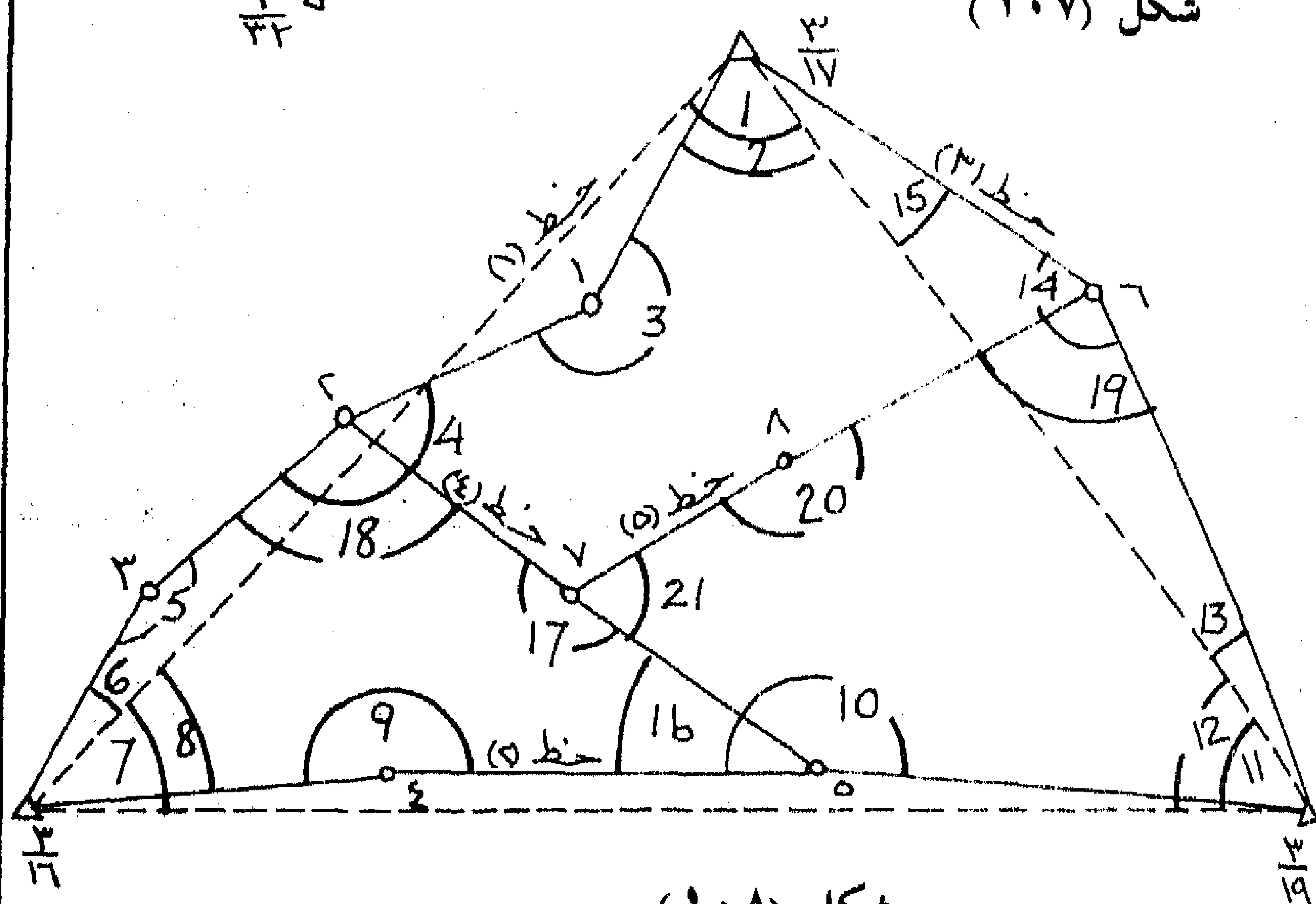
وترتيب الخط رقم ٢ فيبدأ بزاوية البدء وهى (13) ثم راوية الخط (14) ثم زاوية القفل بنقطة المثلثات $\frac{٣}{١٧}$ وهى زاوية (15) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٣ .

وترتيب الخط رقم ٤ فيبدأ بزاوية البدء فيه بنقطة ٥ وهى راوية (16) ثم زاوية الخط وهى (17) ثم زاوية القفل بنقطة ٢ وهى زاوية (18) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٤ .

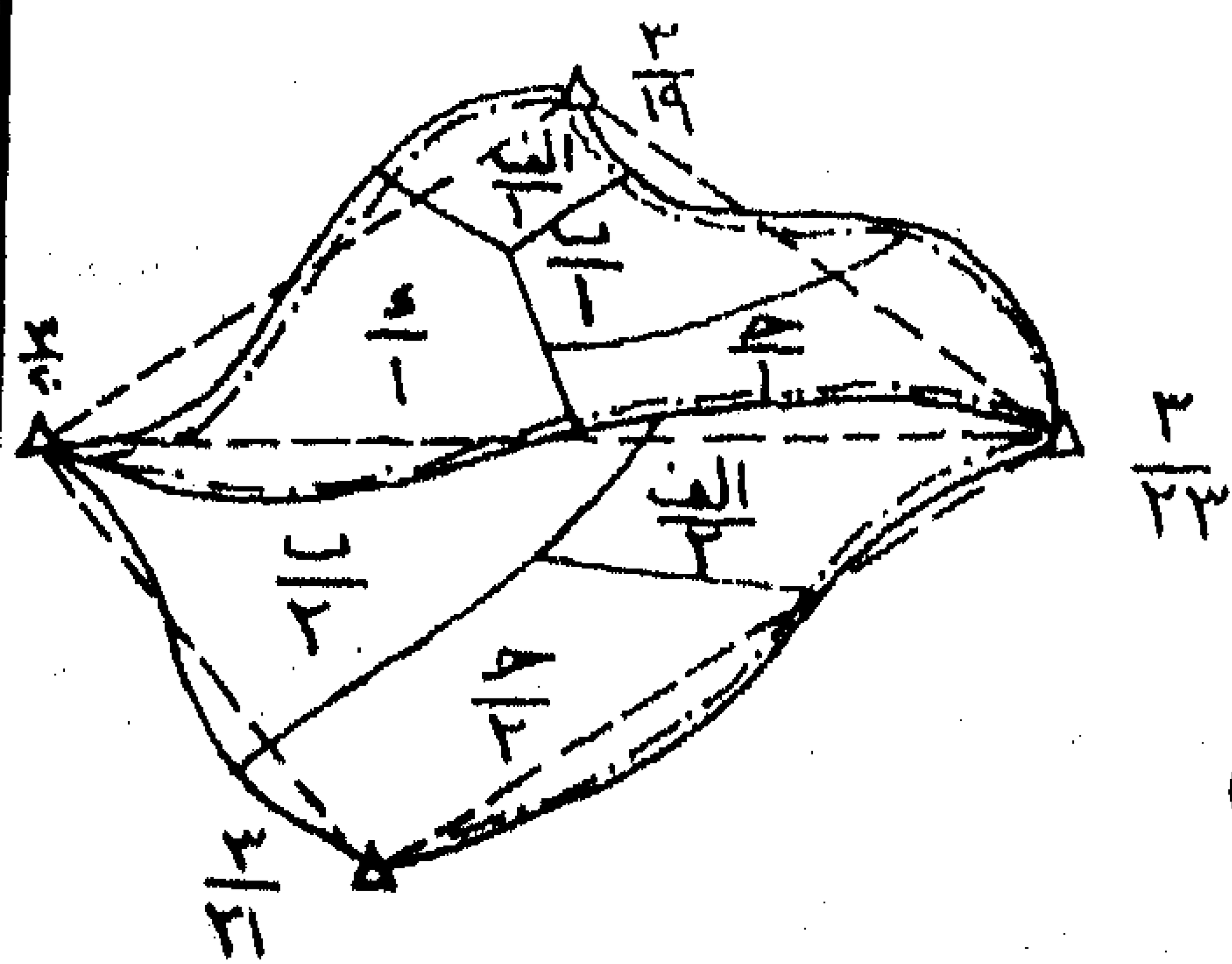


حد فواصل المجموعات

شكل (١٠٧)



شكل (١٠٨)



حد المجموعة

حد القسم

شكل (١٠٩)

وترتيب الخط رقم ٥ فيبدأ بزاوية البدء ٦ وهى راوية (19) ثم زاوية الخط وهى رقم (20) ثم راوية القفل بنقطة ٧ وهى راوية (21) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٥ .

ب ــ يلاحظ فى ترتيب الدفاتر أن يبدأ كل خط بصحيفة جديدة .

٤ ــ أرصاد النقط الأصلية :

ا ــ تدون الأرصاد بالدفاتر حسب ما توضح بترتيبها السابق مع ملاحظة تدوين الزوايا المشتركة بصفحاتها بالدفتر بنفس الصفر لكل نقطة وقت أحتلالها .

ب ــ ترصد النقط الأصلية على أسياخ حديد بكفة طول ١,٥ متر فإن كان الضلع قصيراً فيرصد على شوك حديدية .

حـ ــ بعد إنهاء أرصاد النقط الأصلية للمجموعة تملأ الخانات الموجودة على غلاف الدفتر .

٥ ــ عمل الميزانية لأضلاع النقط الأصلية :

ا ــ تقاس جميع النقط الأصلية للمجموعة مع عمل الميزانية مرتين (مرة فى الذهاب وأخرى فى الإياب) وذلك بواسطة شريط صلب على بكرة وميزان وقامة متر مقسمة درجة ثانية وقاعدة حديد زهر .

ب ــ تعمل الميزانية على جميع النقط المختلفة المناسيب لضلع الترافرس وقت قياسه بالشريط مع تدوين قراءات القامة والمقاسات وتدوين ذلك بالدفتر الخاص بذلك .

حـ ــ عمل ميزانية المقاس خاص بكل ضلع ترافرس على حدة .

٦ ــ الأعمال اللازم أجراؤها بعد أنتهاء الأرصاد والميزانية للمجموعة :

ا ــ بعد إنتهاء أرصاد النقط الأصلية وعمل الميزانية لأضلاعها تحشى بخرائط البندر أو الكروكى مقياس ١/ ١٠٠٠ بواسطة المنقلة من الزوايا والأبعاد .

ب ــ تلون حدود كل مجموعة باللون الأخضر .

حـ ــ تؤخذ صورتان لنقط المجموعة أحداهما على شفاف والأخرى على كلك مع تحبير نقط الترافرس بالأزرق ــ أما نقط المجاميع المجاورة السابق رصدها فتبين بالأسود مع كتابة ديباجة على كل صورة تبين رقم المجموعة وأسم البندر والمصطلحات ومقياس الرسم .

ء ــ بعد إتمام ما تقدم ترسل الدفاتر والأوراق إلى القسم المختص .

٧ ــ تقسيم المجموعة إلى أقسام :

ا ــ بعد الإنتهاء من أرصاد النقط الأصلية للمجموعة تقسم إلى أقسام من المضلعات .

ب ــ القسم هو كل مضلع أو أكثر من مجموعة محاط بنقط أصلية ولا تزيد عدد نقطه الفرعية فى الغالب عن ستين نقطة .

حـ ــ يميز كل قسم من أقسام كل مجموعة بحرف أبجدى يكون على شكل كسر بسطه الحرف الأبجدى ومقامه رقم المجموعة شكل (١٠٩) .

فمجموعة رقم ١ المقسمة إلى أقسام ألف ،ب ،حـ ،ء تكتب هكذا .

ألف/١ ، ب/١ ، حـ/١ ، ء/١

كذلك مجموعة رقم ٢ المقسمة بنفس الأقسام تكتب هكذا :

ألف/٢ ، ب/٢ ، حـ/٢ ، ء/٢ الخ كما فى شكل (١٠٩) .

ء ــ تلون حدود المجاميع بالأخضر كما سبق شرحه وتلون حدود الأقسام بالأصفر .

٨ ــ أستكشاف الأقسام :

ا ــ تستكشف الأقسام بأن توصع نقط فرعية على رؤوس الشوارع والحارات فى المسافات المحصورة بين النقط الأصلية المشتملة عليها الأقسام (مع ربطها بها) ثم توضع أيضاً داخل الشوارع والحارات النافذة والأزقة المسدودة وفى ممرات الحدائق والمنتزهات العمومية .

ب ــ توضع نقط الترافرس اللازمة للأقسام المجاورة أثناء العمل بالقسم الجارى به العمل للتسهيل والإقتصاد فى الوقت وذلك للبدء فيها مباشرة عند الأشتغال بتلك الأقسام الأخرى المجاورة .

حـ ــ تدمج النقط القديمة من حياض ومنافع ضمن نقط الأقسام عند الحاجة مع الاحتفاظ بنمرها القديمة وربطها بنقطتين قديمتين إن أمكن .

ء ــ الشوارع التى يزيد عرضها عن ١٢ متر يجب وضع خطى ترافرس فرعى بجانبها لسهولة الرفع .

هـ ــ كل خط ترافرس فرعى يجب ربطه بكل نقطة أصلية تصادفه ــ فإن لم يصادفه شىء منها فيجب الربط على كل ٥٠٠ متر .

و ــ جميع النقط الفرعية التى توضع بالشوارع والحارات والأزقة يجب أن تكون فى جانب واحد منها .

ح ــ تعمل كارتات لجميع النقط الفرعية من صورتين مع الروابط الكافية وتحبير جميع أرقام أوتارها .

ط ــ تنمر النقط الفرعية بكل قسم بنمر هندية مسلسلة إبتداء من نمرة ١ إلى نهاية كل قسم مع كتابة رقم النقطة بالبوية على الحائط المقابل لها أو القريب منها .

ى ــ يراعى فى ترقيم النقط الفرعية أن تكون مسلسلة حسب ترتيب أرقام الخطوط .

ك ــ ضلع الترافرس الفرعى لا يزيد طوله عن ١٠٠ متر ولا يقل عن ٢٠ متر فإن قل يعمل له زاوية تقوية إن أمكن وإلا تبين الأسباب بخانة الملحوظات .

ل ــ إذا رؤى أن عدد نقط أى ترافرس قليل جداً فيمكن ضمه إلى الترافرس المجاور وإعتبارهما قسماً واحداً .

م ــ تقاس أضلاع الترافرس الفرعى فى الدفعة الأولى قياساً عادياً (بدون ميزانية) حال وضعها مباشرة مع تدوين أبعادها بدفتر الأرصاد والكرث .

٩ ــ رصد ترافرس النقط الفرعية للأقسام :

ا ــ ترتب دفاتر الأرصاد حسب نظام دفاتر ترافرس الحياض فى الرصد والمقاس السابق شرحه .

ب ــ تقاس الدفعة الثانية لأضلاع الترافرس الفرعى عند الرصد بشرط أن لا يزيد الفرق فى مقاس الدفعة الثانية عن ٣ سنتيمتر فى كل ١٠٠ متر وإلا فيعاد مقاس الضلع مرة ثالثة .

حـ ــ نرصد زوايا النقط الفرعية على أسياخ حديد بكفة أما الأضلاع القصيرة فترصد على شوك حديد .

ء ــ عند احتلال نقط أصلية أو فرعية البدء منها أو القفل عليها يجب إيجاد زاوية تحقيق مع قياس ضلعى الزاوية مرة واحدة بدون ميزانية .

هـ ــ يلاحظ أن تملأ خانات دفاتر الأرصاد .

و ــ بعد الأنتهاء من أرصاد وقياس كل قسم تحشى نقطه على المجموعة العمومية للخط وتحبيرها بالأحمر .

ح ــ تؤخذ صورتان من نقط القسم أحدهما على شفاف والأخرى على كلك مبيناً به النقط الأصلية بالأزرق والنقط الفرعية ونقط الأقسام المجاورة السابق رصدها بالأسود مع عمل ديباجة لها ومصطلح للرسم .

ط ـــ بعد إتمام ما تقدم ترسل الأوراق للقسم المختص .

١٠ ـــ الترافرس المعلق ـــ الأشعة :

ا ـــ نقط الترافرس الفرعية التى توضع بالحارات والأزقة المسدودة وما أشبه تسمى (ترافرس معلق ـــ أشعة) لعدم ربطها من جهتين وهذا النوع من الترافرس يجب إعادة رصد وقياس أضلاعه بمعرفة مهندس آخر وتدوين ذلك بدفتر خاص .

ب ـــ إذا زاد الشعاع عن نقطة واحدة فيعتبر خطاً مستقلاً بنمرة خاصة مع تنمير نقطه بالتسلسل من آخر نقطة من الخط المرتبط ـــ أما أن كان الشعاع نقطة واحدة فيعتبر ضمن الخط المرتبط به وتأخذ النقطة الرقم المسلسل بعد آخر رقم فيه .

القسم الثالث
المساحة التاكيومترية

Tacheometry

المساحة التاكيومترية

يتلخص موضوع القياس التاكيومترى فى تحديد المسافات الأفقية والأبعاد الرأسية بين النقط المختلفة من واقع أرصاد من جهاز يسمى التاكيومتر بطرق سريعة وبدقة مقبولة دون اللجوء إلى عملية القياس المباشر .

وتعد المساحة التاكيومترية من أهم الطرق الأساسية المتبعة فى القياسات الأفقية والرأسية . ومعنى كلمة (التاكيومترية) هو (القياس السريع) .

والتاكيومتر عبارة عن تيودوليت مجهز بتركيبات خاصة لايجاد المسافات والإرتفاعات بإجراء بعض العمليات الحسابية ، وفى بعض الأجهزة يمكن الحصول على المسافات والأرتفاعات إما بدون عمليات حسابية على الأطلاق أو بعمليات حسابية بسيطة جداً .

ومع التقدم والتطور فى صناعة الأجهزة المساحية أمكن الحصول على دقة عالية جداً فى بعض القياسات التاكيومترية كقضيب الأنفار .

أغراض المساحة التاكيومترية :

تستعمل المساحة التاكيومترية فى أغراض مساحية كثيرة من أهمها :

١ ــ عمل خرائط كونتورية خاصة فى الأراضى غير المستوية (ذات الطبوغرافية الشديدة) حيث يصعب أو قد يستحيل القياس المباشر .

٢ ــ رفع وبيان التفاصيل وخطوط الكونتور للمناطق المتسعة كمناطق التشجير ومصدات الرياح ومناطق استصلاح الأراضى ، أى تلك المناطق التى لا تتطلب دقة عالية .

٣ ــ التوقيع المبدئى للأعمال الهندسية وعمل القطاعات الطولية وكذلك تستعمل فى المساحة المائية .

٤ ـــ تعيين معدلات الأنحدار للمشاريع الممتدة كالطرق بأنواعها وفى المجارى المائية وأعمال الصرف الصحى ومشاريع المياه .

٥ ـــ قياس أطوال المضلعات حيث تحسب أطوال أضلاعها مع قياس الزوايا بين هذه الأطوال من موضع رصد واحد كما هو الحال فى إستعمال قضيب انفار مع التيودوليت الحديث .

٦ ـــ تستخدم التاكيومترية بكفاءة عالية فى أعمال المساحة باللوحة المستوية (البلانشيطة) حيث توفر أعمال القياسات الطولية المباشرة وذلك باستخدام اليداد البلانشيطة كجهاز تاكيومتر .

نظرية القياس التاكيومترى :

يمكن إستنتاج وتحديد المسافة الأفقية بين النقطة المثبت فوقها الجهاز المستعمل وأى نقطة أخرى معلومة وكذلك منسوب هذه النقطة الأخيرة بالنسبة لمستوى سطح الجهاز (أو تحديد فرق المنسوبين) من واقع المعلومات التالية :

١ ـــ الزاوية المقاسة بواسطة الجهاز والمقابلة لمسافة صغيرة معروفة عند النقطة المعلومة (وهذه الزاوية إما أفقية أو رأسية ويطلق عليها زاوية البرالاكس) والمسافة الصغيرة تعرف (بالقاعدة) أو (المسافة المقطوعة) وهى تتنوع بتنوع الطرق والأجهزة المستخدمة ، فيمكن أن تكون اما مسافة مقطوعة على قامة رأسية أو مسافة أفقية مقروءة على قامة أفقية عند نقطة الهدف أو على نفس الجهاز .

٢ ـــ زاوية إرتفاع أو إنخفاض النقطة من موقع الجهاز ، وزاوية البرالاكس يمكن أن تكون ثابتة القيمة أو متغيرة حسب نوع الجهاز والطريقة المستعملة .

والأساس الرياضى للقياس التاكيومترى هو تكوين مثلثات فراغية فى مستوى رأسى أو أفقى نحصل منها على المسافة وفرق المنسوب بين طرفى الخط المقيس .

طرق المساحة التاكيومترية

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة فى التاكيومترية إلى مجموعتين أساسيتين :

المجموعة الأولى

وهى الطرق التى تكون فيها القاعدة عند موضع الهدف ، وزاوية البرالاكس عند موضع الرصد . وتتميز طرق هذه المجموعة بأن دقتها عالية .

المجموعة الثانية :

وهى الطرق التى تكون فيها القاعدة عند موضع الرصد وزاوية البرالاكس عند موضع الهدف . ويلاحظ أن طرق هذه المجموعة قليلة الدقة .

وكلا من المجموعتين تحتوى :

أ ـ أجهزة تاكيومترية زاوية البرالاكس بها ثابتة القيمة والقاعدة متغيرة .

ب ـ أجهزة تاكيومترية زاوية البرالاكس بها متغيرة القيمة والقاعدة ثابتة .

وسوف نتناول بالشرح الطرق المختلفة لكلا المجموعتين تفصيلاً . وهذه الطرق هى :

طرق وأجهزة المجموعة الأولى :

١ ـ طريقة شعرات القياس (شعرات الأستاديا) والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .

٢ ـ طريقة الظلال : (Tangent Method) .

والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .

٣ ـ طريقة قضيب الأنفار (Subtense Bar)

٤ ـ طريقة منشور المسافة (وتعتمد على نظام الصور المزدوجة) والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .

طرق وأجهزة المجموعة الثانية

وجميع أجهزتها تعتمد على نظام الصور المزدوجة .

ومن أمثلتها :

١ ـــ جهاز التليتوب والأجهزة المشابهة .

وفيه تكون زاوية البرالاكس ثابتة القيمة والقاعدة متغيرة .

٢ ـــ جهاز القاعدة المختزل (BRT 006) والأجهزة المشابهة والذى فيه كل من زاويتى البرالاكس والقاعدة متغيرة القيمة .

٣ ـــ جهاز تليمتر وجهاز موجد المسافات وجهاز ستريوتليمتر والأجهزة المشابهة وبها تكون زاوية البرالاكس متغيرة والقاعدة إما ثابتة أو متغيرة .

الباب الثانى عشر

طريقة شعرات الاستاديا

(Stadia Hair System)

تعتبر طريقة شعرات الأستاديا من أسهل الطرق وأكثرها استعمالاً خاصة فى الأعمال التفصيلية التى لا تتطلب دقة عالية ، وإن كانت دقتها محدودة نظراً لتنوع الأخطاء بها .

فى هذه الطريقة يستعمل تاكيومتر يزود دليله بشعرتين أفقيتين إضافيتين أعلى وأسفل الشعرة الأفقية الأساسية (عادة أقصر منها فى الطول) وعلى بعدين متساويين من الشعرة الوسطى . ويطلق على هاتين الشعرتين اسم (شعرتى الأستاديا) . ومعظم التيودليتات العادية وأليداد البلانشيطة مجهزة بمثل هذه الشعرات . ويستعمل مع التاكيومتر قامة عادية مدرجة كالمستعملة فى الميزانية .

وفى طريقة شعرات الاستاديا تؤخذ الأرصاد والقراءات اللازمة لتعيين بعد وإرتفاع نقطة بتوجيه منظار الجهاز مرة واحدة إلى قامة رأسية موضوعة فوق هذه النقطة ، ثم تؤخذ قراءتا القامة عند شعرتى الأستاديا ومنها يمكن حساب المسافة بين محور المنظار وموقع القامة ، فإذا وضعت القامة على أبعاد مختلفة من المنظار فإن الجزء المقطوع على القامة والمحصور بين شعرتى الأستاديا يتغير تبعاً لذلك ، ويتوقف مقداره على بعد القامة من الجهاز وبذا فإن الجزء المقطوع على القامة يعتبر مقياساً للبعد بين القامة والجهاز وزاوية البرالاكس فى هذه الحالة ثابتة القيمة .

حساب المسافة الأفقية والبعد الرأسى

أولاً — حالة النظرات الأفقية :

وهى الحالة التى لا يكون فيها زوايا إرتفاع أو إنخفاض ويكون فيها المنظار أفقياً أى خط النظر أفقياً ، أما الحالة العامة فالمنظار فيها يكون مائلاً ويتطلب الأمر حينئذ قياس زاوية إرتفاع أو إنخفاض خط النظر فى المنظار .

فى شكل (١١٠) :

م : المركز البصرى للعدسة الشيئية — ا ، حـ : شعرتا الاستاديا .

ب : الشعرة الأفقية الوسطى — $ا_{١}$ ، $ب_{١}$ ، $حـ_{١}$: قراءات الشعرات .

س : البعد البؤرى للشيئية .

$س_{١}$: المسافة الأفقية بين القامة والمركز البصرى للشيئية .

$س_{٢}$: البعد الأفقى بين مركز الشيئية ومستوى حامل الشعرات .

ط : البعد الأفقى بين المركز البصرى للشيئية والمحور الرأسى للدوران .

هـ : المسافة المقطوعة على القامة بين شعرتى الاستاديا = $ا_{١}$ $حـ_{١}$.

المثلثان $ا_{١}$ م $حـ_{١}$ ، ا م حـ متشابهان :

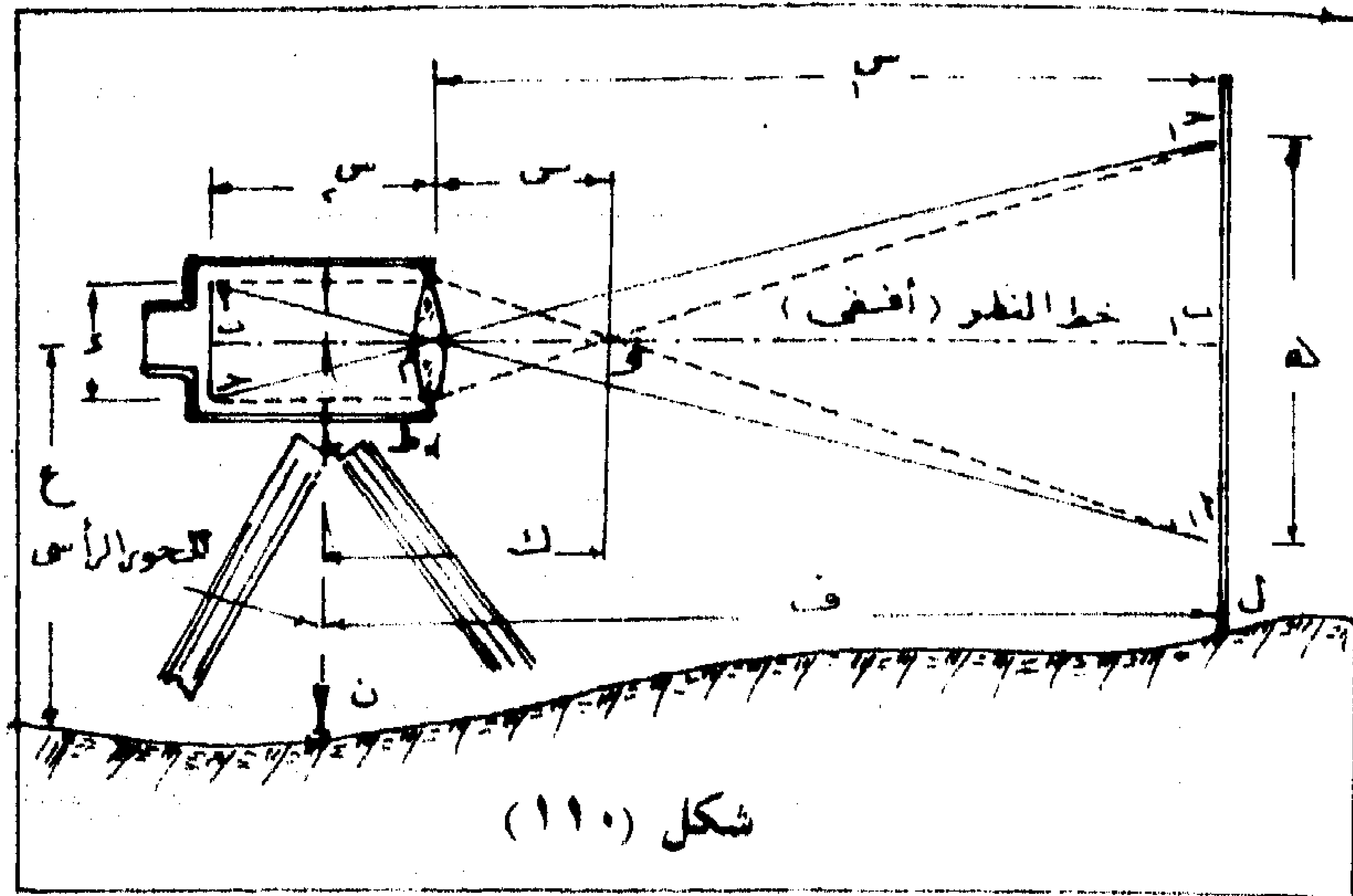
$$\therefore \frac{س_{١}}{س_{٢}} = \frac{هـ}{ى} \quad \ldots\ldots (١)$$

ولكن $\frac{١}{س} = \frac{١}{س_{١}} + \frac{١}{س_{٢}}$ من قانون العدسات ...... (٢)

حيث $س_{١}$ ، $س_{٢}$ بعدان لبؤرتين متبادلتين للشيئية .

وبضرب المعادلة (٢) فى $س_{١}$ س ينتج :

$$س_{١} = س + \frac{س\ س_{١}}{س_{٢}} \quad \ldots\ldots (٣)$$



شكل (١١٠)

وبتعويض قيمة $\frac{س_1}{س_2}$ من المعادلة (١) فى المعادلة (٢) ينتج :

$$س_1 = س + س \cdot \frac{هـ}{ى} \qquad \text{...... (٤)}$$

وبإضافة ط إلى كل من الطرفين ينتج أن :

$$ف = هـ \cdot \frac{س}{ى} + (س + ط) \qquad \text{...... (٦٤)}$$

حيث $\frac{س}{ى}$ ، (س + ط) قيم ثابتة للجهاز

ويسميان بالثابت التاكيومترى (ث) والثابت الأضافى (ك) على الترتيب .

والثابت التاكيومترى ث هو عادة ما يكون رقماً مناسباً (١٠٠ ، ٢٠٠ ،

٥٠) والثابت الاضافى (ك) يتراوح عادة بين ٣٠ ، ٦٠ سنتيمتر حسب نوع الجهاز .

المسافة الأفقية = الفرق بين قراءتى شعرتى الاستاديا ×
إلثابت التاكيومترى + الثابت الأضافى
ف = ث هـ + ك .... (٦٥)

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز
+ ارتفاع الجهاز
– قراءة الشعرة الوسطى .... (٦٦)
منسوب ل = منسوب هـ + ع – ب ١

ثانياً — حالة النظرات المائلة :

فى هذه الحالة تؤخذ الأرصاد التالية :

١ — قراءات الشعرات الثلاث على القامة .

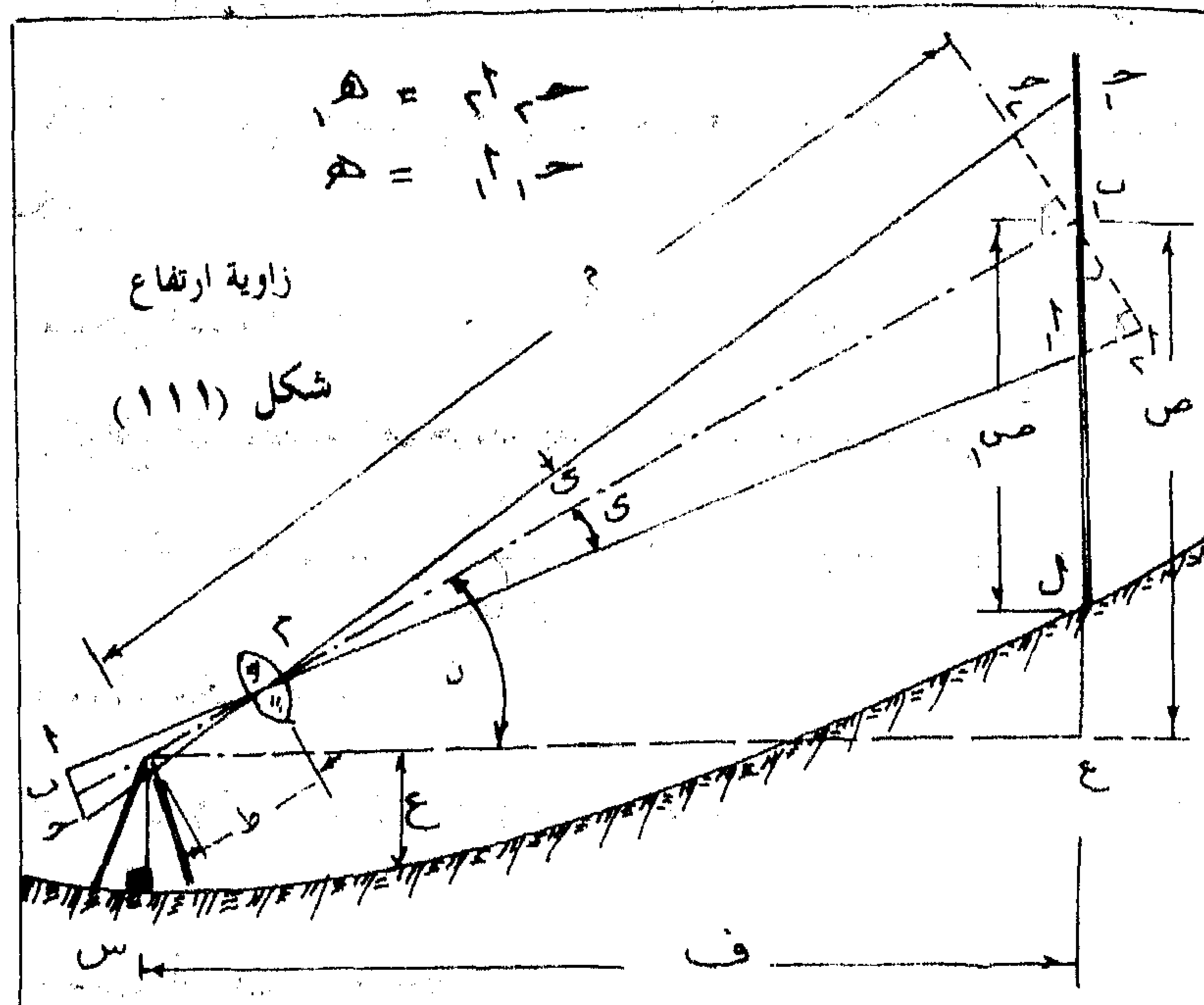
٢ — (ن) زاوية إرتفاع أو إنخفاض خط النظر عن الأفقى أثناء الرصد على القامة .

فى شكلى (١١١ ، ١١٢) .

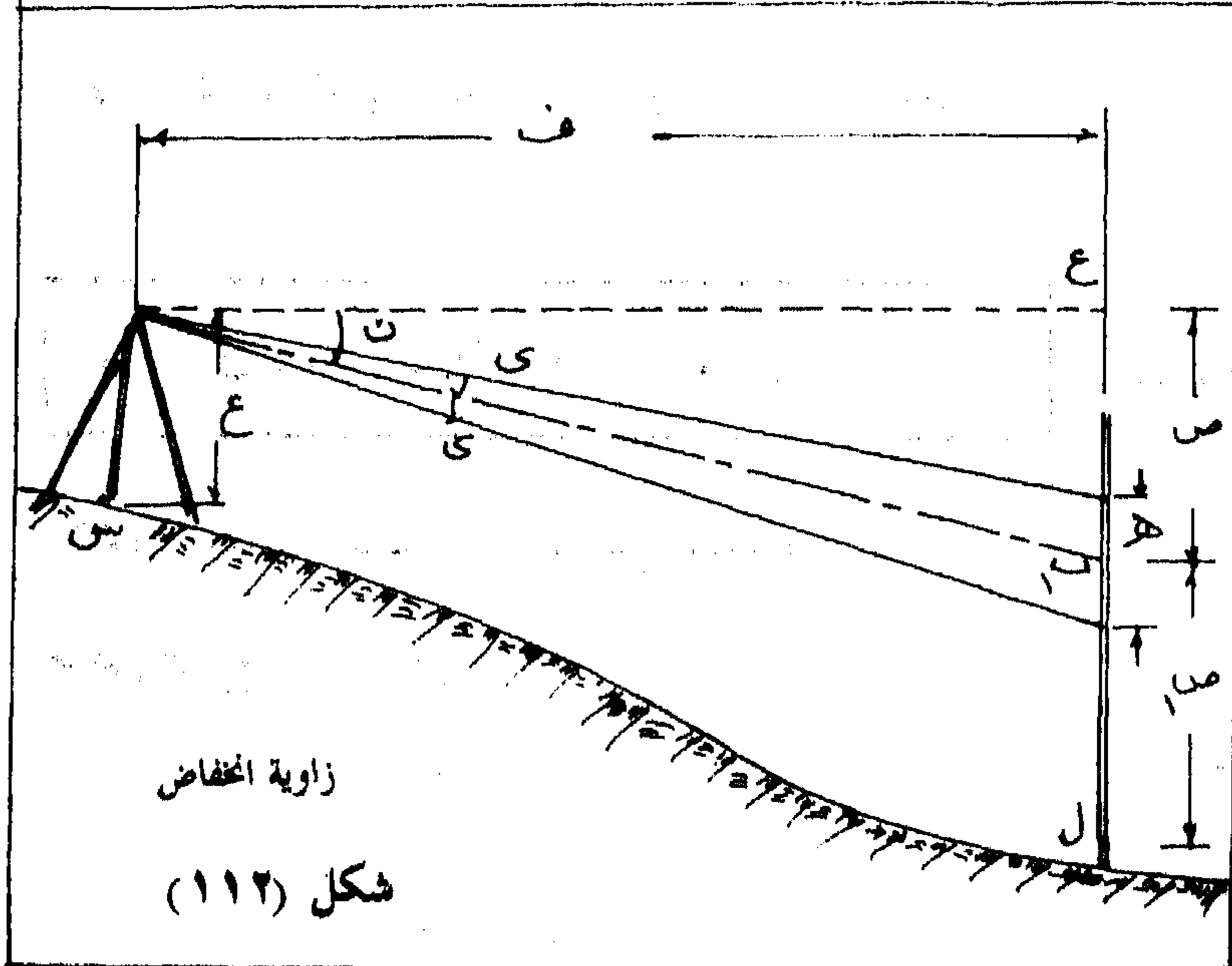
م = المسافة المائلة بين المحور الرأسى للجهاز وبين ب ١ نقطة تقاطع خط النظر مع القامة .

ص = البعد الرأسى بين سطح الجهاز ونقطة ب ١ .

نفرض أن ا ٢ ب ٢ حـ ٢ رسم عمودياً على م ب ١ .



شكل (١١١)



شكل (١١٢)

وبما أن الزاوية $ا_١ ب_١ ا_٢$ = ن ، الزاوية $ا_١ ا_٢ ب_١$ = ٩٠° تقريباً .

لأن $ا_١ ا_٢ ب_١$ = $م ب_١ حـ_٢$ — $ب_١ م ا_١$ والزاوية الأخيرة صغيرة جداً ويمكن إهمالها .

فيمكن إعتبار $ا_٢ حـ_٢$ = $هـ_١$ = $ا_١ حـ_١$ جتا ن = هـ جتا ن

والواقع أن المعادلة الصحيحة بدون إجراء التقريب هى :

$هـ_١$ = هـ جتا ن — ($\frac{جا^٢ ن}{جتا ن}$. ظا^٢ ى) والمقدار بين القوسين صغير جداً ولهذا يمكن إهماله .

$$م = \frac{س}{ى} (هـ \ جتا ن) + (س + ط)$$

وحيث أن ف = م جتا ن

$$\therefore \ ف = هـ \ (\frac{س}{ى}) \ . \ جتا^٢ ن + (س + ط) \ جتا ن$$

$$\boxed{ف = ث \ . \ هـ \ . \ جتا^٢ ن + ك \ . \ جتا ن} \quad ...... (٦٧)$$

ولايجاد منسوب النقطة ل (موضع القامة) .

نفرض أن $ع ب_١$ = ص = ف ظا ن

$$ص = هـ \ . \ \frac{س}{ى} \ جتا ن \ جا ن + (س + ط) \ جا ن$$

$$ص = ث \ . \ هـ \ . \ جتا ن \ جا ن + ك \ جا ن$$

$ص = \frac{1}{2} ث . هـ . جا ٢ ن + ك جا ن$	.... (٦٨)

منسوب نقطة القامة (فى حالة زاوية الارتفاع) = منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز (ع) + ص − قراءة الشعرة الوسطى ($ص_١$)	... (٦٩)

منسوب نقطة القامة (فى حالة زاوية الانخفاض) = منسوب الجهاز + ع — ص — $ص_١$	.... (٧٠)

مثال : رصدت قامة موضوعة فوق روبير منسوبه ٨٠,٠٠ م فكانت قراءات الشعرات هى على التوالى ١,٠٠ ، ٢,٥٦ ، ٤,١٢ م وزاوية الانخفاض ٣٢′ ٥° . نقلت القامة إلى نقطة ب فكانت القراءات صفر ، ١,٨٨ ، ٣,٧٦ م وزاوية الارتفاع ١٨′ ٤° . أوجد المسافة الأفقية بين الجهاز ونقطة ب وكذلك منسوب ب إذا علم أن الثابت التاكيومترى = ١٠٠ والثابت الاضافى = ٣٠ سم .

عند الرصد على الروبير :

$ص = (٤,١٢ — ١,٠٠) ١٠٠ × \frac{1}{2} جا ٤٠′ ١١°$

+ ٠,٣ جا ٣٢′ ٥° .

= ٢٩,٩٤ + ٠,٠٢٩ = ٢٩,٩٧ متر

منسوب سطح الجهاز = ٨٠,٠٠ + ٢,٥٦ + ٢٩,٩٧ = ١١٢,٥٣ متر

المسافة الأفقية ف = (٣,٧٦ ــ صفر) ١٠٠ × جتا^{2} ١٨′ ٥٤°

+ ٠,٣ جتا ١٨′ ٥٤°

= ٣٧٣,٨٩ + ٠,٢٩٩ = ٣٧٤,١٩ مترا

عند الرصد على النقطة ب =

ص$_{1}$ = ف ظا ن = ٣٧٤,١٩ ظا ١٨′ ٥٤°

= ٢٨,١٣٥ متر

منسوب ب = ١١٢,٥٣ + ٢٨,١٣٥ ــ ١,٨٨

= ١٣٨,٧٨٥ مترا

العدسة التحليلية : (Anallactic Lens)

هى عبارة عن عدسة إضافية موجبة أحد سطحيها محدب والآخر مستوى وتوضع بين الشيئية وحامل الشعرات بغرض التخلص من الثابت الإضافى فى المعادلات السابقة وذلك بجعله مساوياً للصفر ؛ ومن ثم تتبسط العمليات الحسابية إلى حد كبير .

تعيين الثابت التاكيومترى والثابت الاضافى

فى المعادلات التاكيومترية ومشتقاتها يجب أن يكون الثابتان معلومين فى أى جهاز والثابتان يقدران فى المصنع ويكتبان داخل صندوق الجهاز .

وبالرغم من وجود قيمتى الثابتين داخل صندوق الجهاز فإنه يجب قبل العمل أن نعين قيمتيهما الحقيقتين بقدر المستطاع . ولإيجاد قيمة كل من الثابتين نتبع الخطوات التالية :

١ ــ نثبت الجهاز فوق نقطة (أ) مثلاً على أرض مستوية وتدق أوتاد أو شوك على أبعاد ٣٠ ، ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ متراً وتقاس هذه المسافات بالشريط الصلب بدقة وعناية .

٢ ــ نأخذ قراءات شعرات الاستاديا بعناية تامة على كل قامة عند النقط

المختلفة ويفضل أن تكون موضوعة بحيث تواجه الشمس لتظهر واضحة تماماً ؛ ويراعى عند القراءة أن تمحو خطأ الوضع تماماً عند التطبيق . وفى كل مرة نأخذ مجموعتين من الأرصاد بواسطة شخصين مختلفين للتحقيق ثم يؤخذ المتوسط .

٣ ـــ تحسب هـ_1 ، هـ_2 ، هـ_3 ، هـ_4 وهى المسافات المقطوعة على القامة فوق النقط المختلفة وإلى أقرب ملليمتر إذ أن الخطأ فى السنتيمتر الواحد فى قراءة القامة يقابله خطأ قدره متراً فى المسافة .

٤ ـــ نعوض بالقيم التى حصلنا عليها فى معادلة المسافة الأفقية فنحصل على أربع معادلات آنية المجهول فيها الثابتان $\frac{\text{س}}{\text{ى}}$ ، (س + ط) .

٥ ـــ إذا لم نتمكن من أخذ نظرات أفقية فنأخذ نظرات مائلة ونطبق المعادلات الخاصة بها .

٦ ـــ يجب أن نأخذ أكثر من مسافتين للتحقيق كما بينا عاليه إذ كان يكفى مسافتين فقط .

٧ ـــ نحل كل زوج من المعادلات مع بعض فنحصل على عدة قيم ويجب ألا تختلف عن بعض بأكثر من نصف فى المائة .

٨ ـــ نأخذ متوسط القيم الناتجة لتستعمل فى الجهاز .

٩ ـــ إذا كانت الدقة المطلوبة كبيرة يستحسن إيجاد قيمة $\frac{\text{س}}{\text{ى}}$ عدة مرات تحت ظروف جوية مختلفة وفى مختلف ساعات النهار ، واختلاف تأثير الانكسار على قراءتى شعرات الاستاديا يعتبر مصدر خطأ هام فى إيجاد قيمة $\frac{\text{س}}{\text{ى}}$ ، ففى المنطقة القريبة من سطح الأرض تتغير كثافة طبقات الهواء بسرعة تبعاً لبعدها عن الأرض وتبلغ ذروة الانكسار فى ساعات منتصف النهار بينما يصل الحد الأدنى فى الصباح الباكر وعند الغروب .

تأثير الانكسار الجوى

يجب عدم جعل القراءة السفلى قريبة من سطح الأرض عموماً حيث يزيد معدل التغير الحرارى فى المنطقة القريبة من سطح الأرض وحتى إرتفاع متر ونصف ، وبذا يحدث انكسار جوى كبير للشعاع الضوئى فى هذه المنطقة مما يسبب خطأ كبير فى القراءة السفلى لسعرات الاستاديا لذا يجب أن لا نؤخذ القراءات فوق هده المنطقة أو على هذا الارتفاع فى لأيام الحارة المشمسة ، أما فوق هذا الارتفاع فإن هذا التأثير يقل بدرجة ملحوظة وبذا لا نتأثر القراءات كثيراً .

أجهزة خاصة لتبسيط العمليات الحسابية فى طريقة شعرات الاستاديا

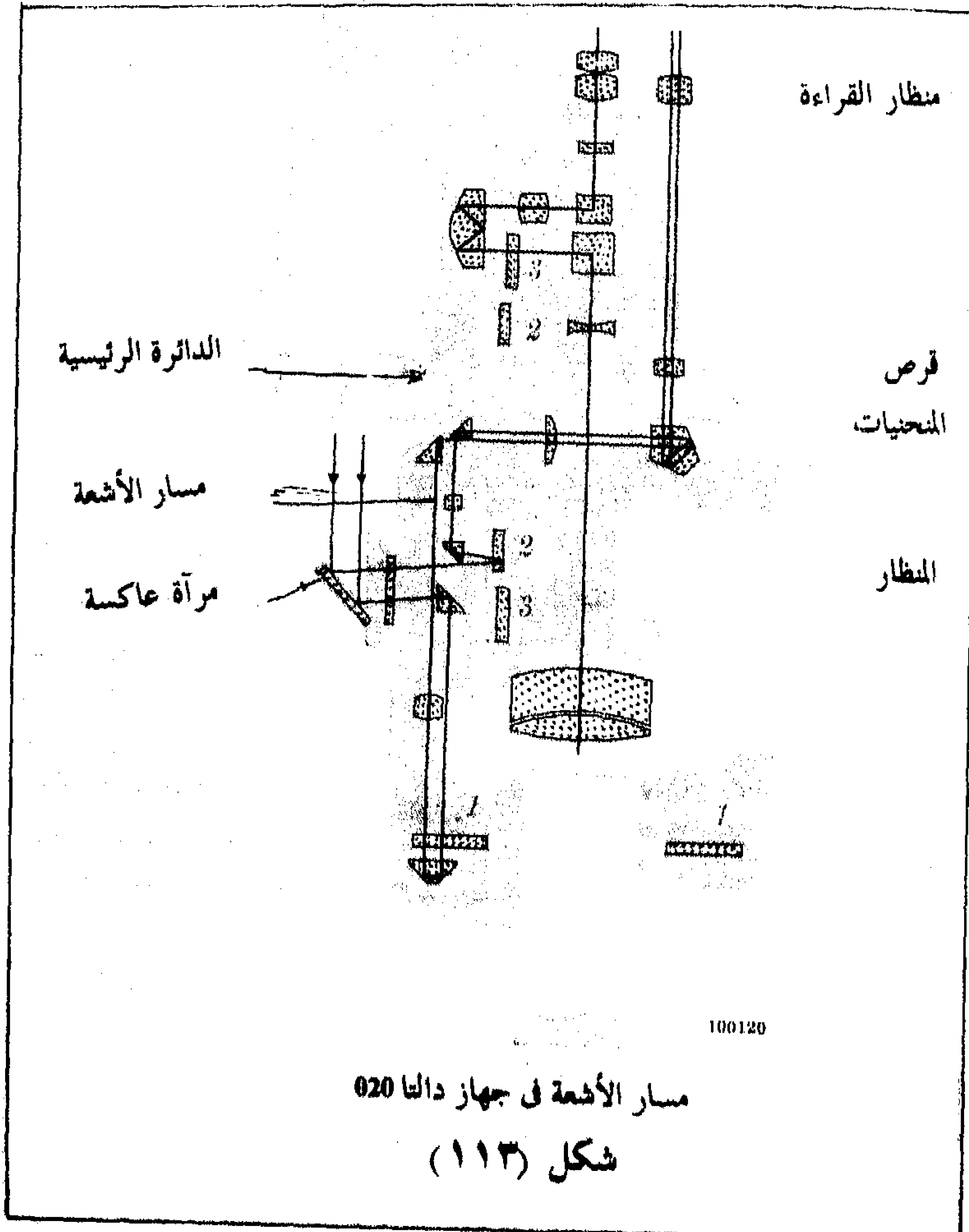
هذه الأجهزة أو التركيبات تعتمد على أساس فكرة شعرات الأستاديا وسواء أكان المنظار مجهزاً بعدسة تحليلية أو بدونها فإن تعيين المسافه الافقيه والبعد الرأسى يحتوى على كثير من العمليات الحسابية المملة ، وقد جهزت بعض الأجهزة حديثاً بتركيبات أو صنعت بطريقة خاصة لتبسيط هذه العمليات إلى أقصى حد ممكن أو لقراءة المسافات الأفقية والأبعاد الرأسية مباشرة ، وتعرف هذه الأجهزة (بالتاكيومترات المختزلة) .

التاكيومترات المختزلة

يعتبر (E. Hammer) أول من ابتكر نظريات إحلال المنحنيات بدلاً من شعرات الأستاديا وقد أنتجت شركه (فنيل) الألمانية أول جهاز تاكيومتر مزود بالمنحنيات وفكرتها هى الاستعاضة عن الشعرات بمنحنيات تعطينا مباشرة المسافات والأبعاد الرأسية دون الحاجة إلى إستعمال جيوب وجيوب تمام الزوايا الرأسية وفيما يلى بعض الأنواع الشائعة الاستعمال :

١ ــ تاكيومتر دالتا (زايس) (Dahlta 020)

هو أحد الأجهزة التاكيومترية ويمكن بواسطته تعيين المسافات الأفقية وفروق المناسيب مباشرة بدون عمليات حسابية وهو مزود بمنحنيات (تعرف بمنحنيات الأختزال) محفورة على قرص زجاجى يدور مع المنظار بدلاً من شعرات الاستاديا الثابتة وتظهر هذه المنحنيات واضحة عند مستوى حامل الشعرات وذلك بواسطة مجموعة من المنشورات وشكلا (١١٣ ، ١١٤) يوضحا تاكيومتر زايس دالتا ومسار الأشعة به . والمنحنيات والخطوط الموجودة بهذا الجهاز هى :



مسار الأشعة فى جهاز دالتا 020

شكل (١١٣)

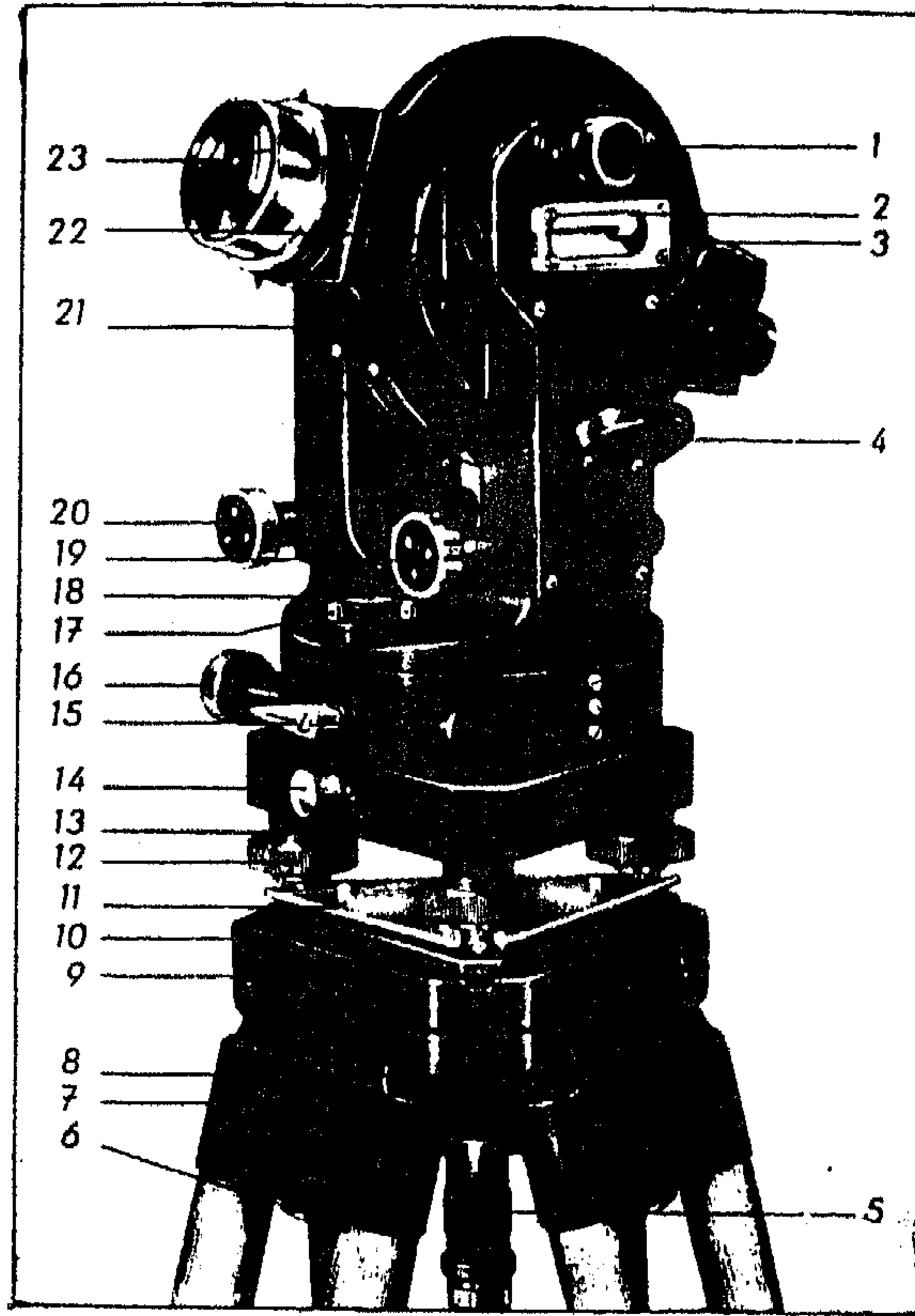


Bild 1. Dahlta 020 (Objektivseite)

100 200 b

٢ ــ ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية

٤ ــ مرآة عاكسة خاصة بالدائرة الأفقية

٥ ــ قضيب تسامت

٩ ــ حامل ثلاثي .

١٣ــ مسمار التسوية .

١٥ــ مسمار حركة سريعة .

١٦ــ مسمار الحركة البطيئة .

١٨ــ ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية .

٢١ــ علبة المنحنيات .

٢٣ــ العدسة الشيئية .

جهاز الدالتا 020

شكل (١١٤)

منحنى الصفر ، منحنى المسافات ، ومنحنى الارتفاعات علاوة على شعرة رأسية ثابتة لتحديد القامة كما يوجد شعرتا استاديا أعلا حامل الشعرات والثابت التاكيومترى لها هو ٢٠٠ ، وتستعمل هذه الشعرات عند إختفاء المنحنيات فى حالات زوايا الارتفاع والانخفاض الكبيرة (أكبر من ٤٠°) .

ويقوم منحنى الصفر مقام الشعرة الوسطى فى التاكيومتر العادى أى أن قراءة منحنى الصفر يعتبر قراءة الشعرة الوسطى . وثابت المسافات الأفقية هو ١٠٠ والمعامل ك للأبعاد الرأسية هو ± ١٠ ، ± ٢٠ ، ± ١٠٠ شكل (١١٥) .

ولرؤية هذه المنحنيات فى وضعها الصحيح يجب أن تكون الدائرة الرأسية على يسار الراصد ودائرة المنحنيات على يمينه أى يكون الجهاز متياسر ، وبالرصد على قامة الدالتا الرأسية وبجعل منحنى الصفر منطبقاً على صفر القامة يمكن قراءة القيمة ف جتا^{2} ن مباشرة على القامة مهما كان خط النظر مائلاً إلى أعلا أو إلى أسفل . ومنحنى المسافة يتكون من منحنى يمثل جتا^{2} زاوية الميل تبدأ قيمته بالوحدة وذلك عندما يكون خط النظر أفقياً تماماً ويقترب من منحنى الصفر مع إرتفاع أو إنخفاض المنظار ، والمسافة بين منحنى الصفر ومنحنى المسافات تتغير تبعاً للمعادلة .

$$\text{ا} = \frac{\text{س جتا}^{2}\text{ ن}}{\text{ك} \pm \frac{1}{2}\text{ جا ٢ ن}} \qquad \text{..... (٧١)}$$

حيث ا = المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى المسافات .

س = البعد البؤرى للمنظار .

ن = الزاوية الرأسية .

ك = العدد الثابت ١٠٠ .

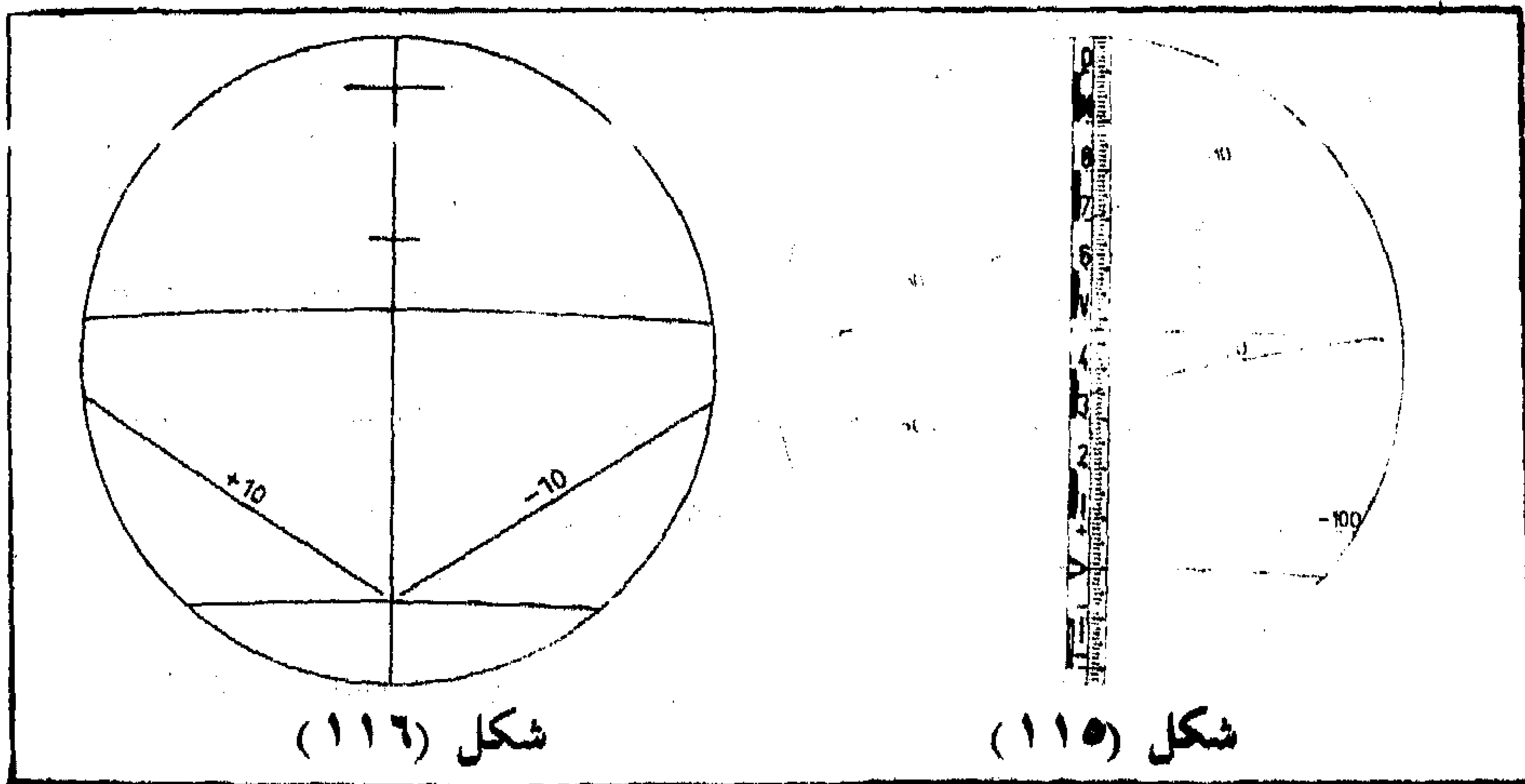
والاشارة الموجبة لزوايا الأرتفاع والسالبة للأنخفاض . هذا ويمكن استعمال قامة عادية مع الجهاز وجعل منحنى الصفر على أى قراءة .

أما مجموعة المنحنيات الخاصة بتعيين فرق الارتفاع ص فهى منحنيات تمثل جا ٢ ن وهى تبدأ من الصفر وتتزايد مع تغير زاوية الارتفاع أو الإنخفاض ويتغير ثابتها من ١٠ إلى ٢٠ إلى ١٠٠ وتتغير المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى فرق الارتفاع تبعاً للمعادلة .

$$ب = \frac{\frac{١}{٢} س \ جا \ ٢ \ ن}{ك_{١} \pm جا^{٢} ن} \quad ..... (٧٢)$$

حيث ب = المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى فرق الأرتفاع .
س = البعد البؤرى لشيئية المنظار .
ن = الزاوية الرأسية .
$ك_{١}$ = العدد الثابت المستعمل فى كل حالة ١٠ أو ٢٠ أو ١٠٠ .

وإلاشارة الموجبة لزوايا الأرتفاع والسالبة للانخفاض . وشكل (١١٦) يمثل مجال المنظار فى جهاز دالتا وهو فى وضع أفقى .



شكل (١١٥)   شكل (١١٦)

قامة جهاز دالتا .

يستعمل مع جهاز دالتا قامة خاصة به مبينة فى شكل (١١٧) وصفر تدريجها على إرتفاع ١,٤٠ عن القاعدة وهى مدرجة إلى سنتيمترات وديسيمترات من هذا الصفر إلى أعلى باللون الأسود بالإشارة (+) ، وإلى أسفل باللون الأحمر بالإشارة (-) . ويجب مراعاة الإشارات عند إستعمال الجزء الأسود أو الجزء الأحمر كما يمكن استعمال قامة عادية مع الجهاز .

مثال على إستعمال جهاز دالتا : شكل (١١٥) يبين مجال المنظار وهو موجه إلى قامة فوق نقطة ب من جهاز دالتا فوق نقطة ا — أحسب المسافة الأفقية ا ب ومنسوب (ب) ، علماً بأن زاوية إنخفاض المنظار ٢٣َ ٨° ومنسوب ا = ١٠,٠٠ متر وإرتفاع الجهاز ١,٤٥ م .

الحـــل :

منحنى الصفر يقرأ صفر

منحنى المسافة يقرأ ٠,٤٧٦ متر

المنحنى الصادى معامل — ١٠ يقرأ ٠,٧٠٢ متر

المنحنى الصادى معامل — ٢٠ يقرأ ٠,٣٥١ متر

شعرتا الاستاديا بالجهاز (ثابتة = ٢٠٠) تقرأ ٠,٦٢٩ ، ٠,٨٧٢ متر

المسافة الأفقية ف = ١٠٠ (٠,٤٧٦ — صفر) = ٤٧,٦ مترا

باستعمال (منحنى ص العلوى)

ص = - ١٠ (٠,٧٠٢ - صفر) = - ٧,٠٢ مترا

شكل (١١٧)

وللتحقيق :

باستعمال (منحنى ص السفلى)ص=− ٢٠ (٠,٣٥١−صفر)=−٧,٠٢مترا
باستعمال شعرتى الاستاديا ف = ٢٠٠ (٠,٨٧٢ − ٠,٦٢٩) جتا٢ ٢٣ َ ٥٨
= ٢٠٠ × ٠,٢٣٤ × ٠,٩٨٩٣ = ٤٧,٦ مترا
ص = ف ظا ن = ٤٧,٦ × − (٠,١٤٧)
= − ٧,٠٢ مترا

منسوب ب = ١٠,٠٠ + ١,٤٥ − ٧,٠٢ − ١,٤٠ = ٣,٠٣ مترا

وإذا فرضنا أن منحنى الصفر كان منطبقاً على القراءة ــ ٠,٤٠ (فى الجزء الأحمر السفلى) فإن :

ف = ١٠٠ [٠,٤٧٦ ــ (ــ ٠,٤٠)] = ٨٧,٦ مترا
ص = − ١٠ [٠,٧٠٢ ــ (ــ ٠,٤٠)] = − ١١,٠٢ مترا
منسوب ب = ١٠,٠٠+١,٤٥−١١,٠٢−(١,٤٠−٠,٤٠)=−٠,٥٧م

وهناك أجهزة أخرى مثل تاكيومتر كيرن DKRV ، تاكيومتر RDS وايلد .

٢ ــ تاكيومتر (RDS) وايلد :

يستعمل معه أيضاً قامة رأسية والصورة فيه تكون معتدلة داخل المنظار وفكرة الجهاز كالسابق تماماً وتوجد به ثلاثة منحنيات الأول وهو المنحنى الأسفل ويسمى (منحنى الصفر) والأوسط لقياس فرق الارتفاعات والعلوى لقياس المسافات الأفقية كما هو مبين فى شكلى (١١٨ ، ١١٩) .

استعمال الجهاز :

١ ــ يوجه المنظار نحو قامة فوق النقطة المراد إيجاد بعدها عن الجهاز وكذلك منسوبها .

٢ ــ نجعل منحنى الصفر يقطع القامة عند القراءة ١,٠٠ متر (صفر

تدريج القامة) وتدون قراءتى المنحنيين الآخرين على القامة (يمكن أخذ أى قراءة أخرى صحيحة غير ١,٠٠ متر) .

٣ ــ المسافة الأفقية ف = ١٠٠ × (الفرق بين قراءتى منحنى الصفر ومنحنى المسافات العلوى) .

٤ ــ البعد الرأسى ص = المعاملك × (الفرق بين قراءتى منحنى الصفر ومنحنى الارتفاعات) .

وقيم المعاملك = ١٠ للزوايا بين صفر° إلى ٥° .
= ٢٠ للزوايا بين ٤° إلى ١٠° .
،ك = ٥٠ للزوايا ٩° إلى ٢٣° .
= ١٠٠ للزوايا بين ٢٢° إلى ٤٤° .

هذا المعامل مكتوب على المنحنى ولكن بدلاً من كتابة ١٠ ، ٢٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ كتب ٠,١ ، ٠,٢ ، $\frac{١}{٢}$ ، ١ شكل (١١٨) ، شكل (١١٩) لزوايا الارتفاع ، أما لزوايا الانخفاض فتغير الإشارة إلى (−) .

فى شكل (١١٨) :

ف = ٤١,٣ م .

ص = + ٠,١ × ٢١,٧ = ٢,١٧ م .

فى شكل (١١٩) :

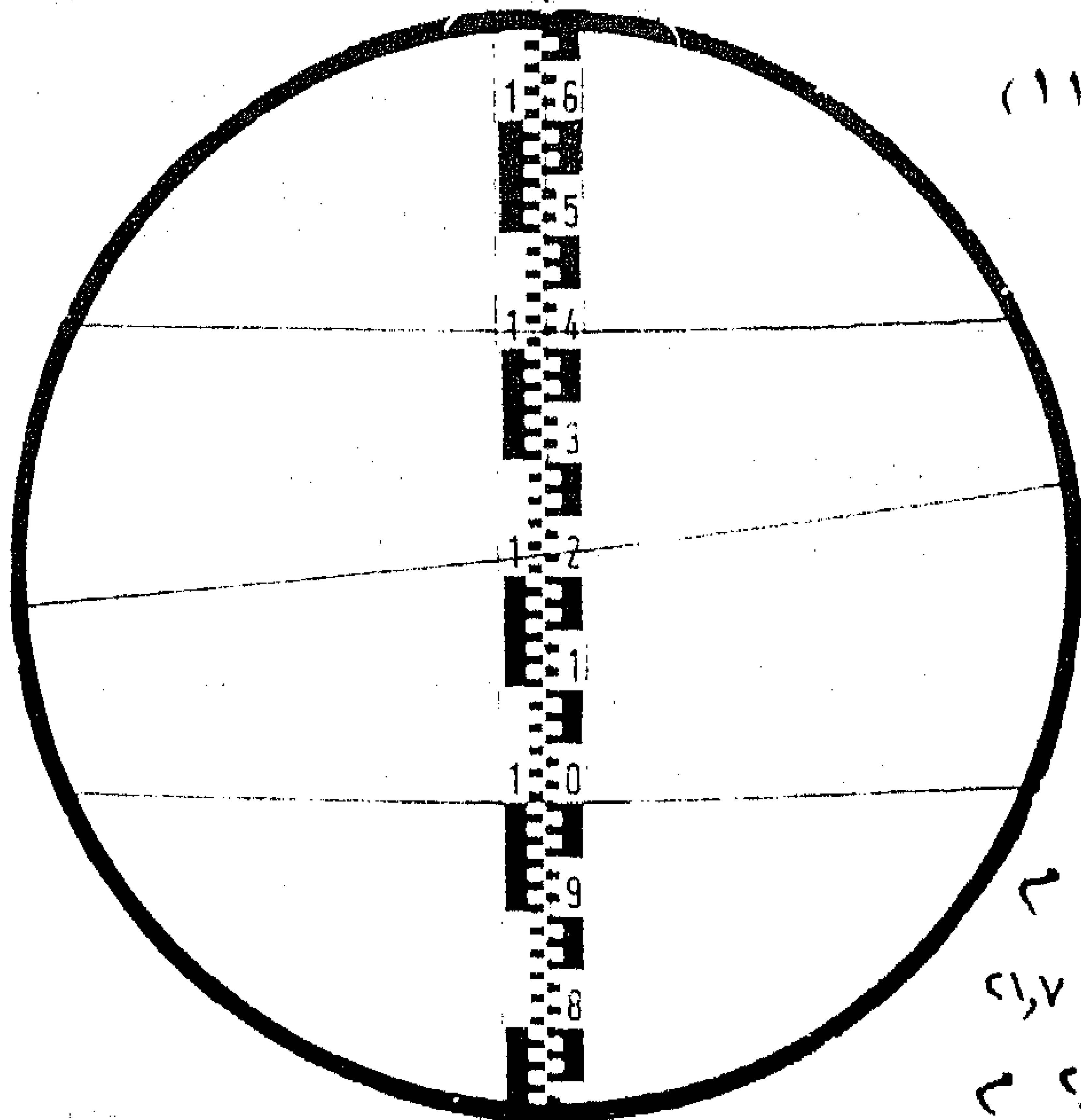
ف = ٣٥,٥ م .

ص = + $\frac{١}{٢}$ × ٢١,٨ = ١٠,٩ م .

ملحوظة :

قراءة المنحنى السفلى (١) متر هى قراءة الشعرة الوسطى .

شكل (١١٨)

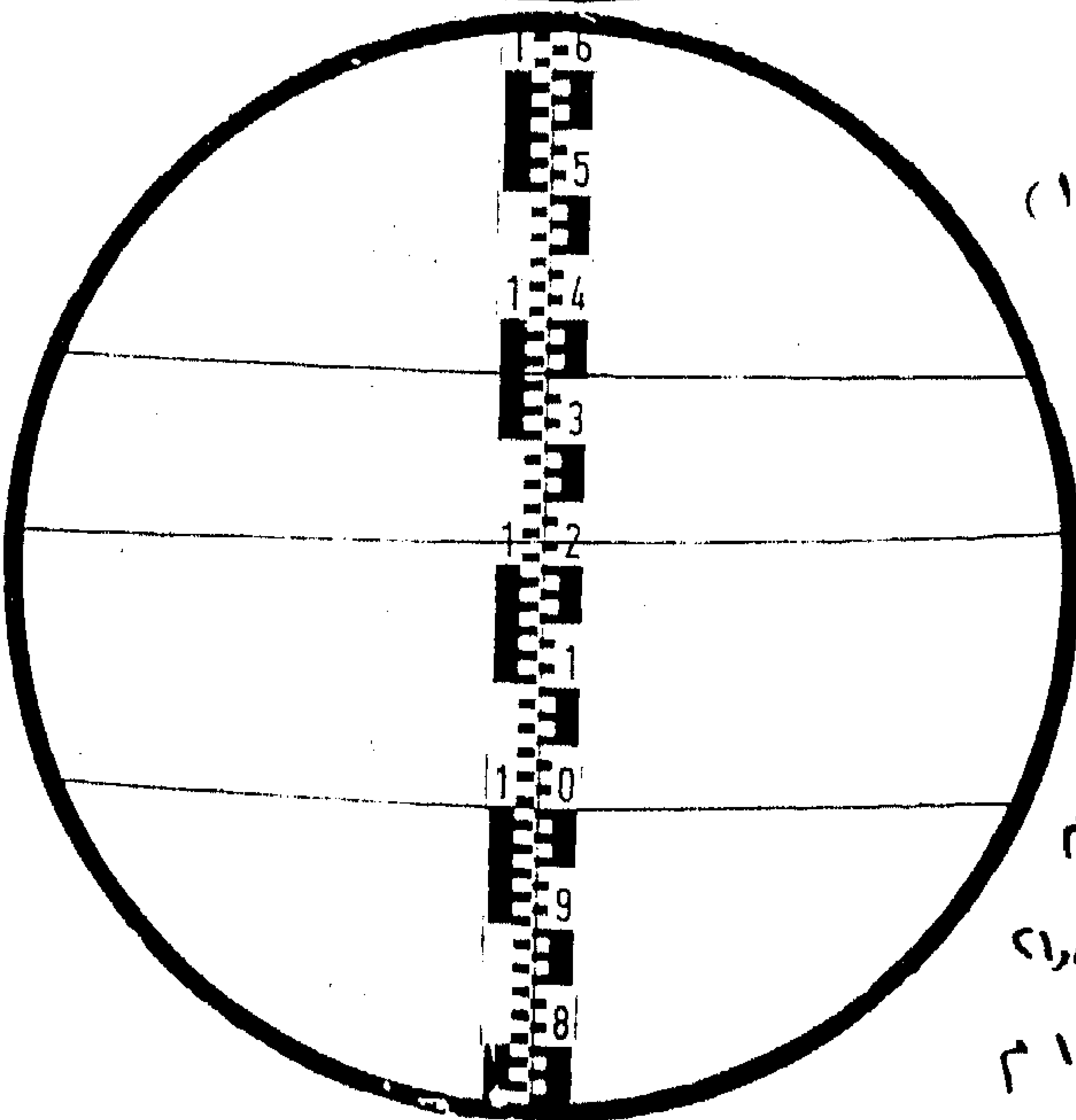


ف = ٤١ر٣ م

ص = ١ر × ٢١ر٧

= ٢ر١٧ م

شكل (١١٩)



ف = ٣٥ر٥ م

ص = + $\frac{1}{2}$ × ٢١ر٨

= + ١٠ر٩ م

منسوب ب = ١٤,٣٨ + ١,٤٥ + ٣,٦ - ٠,٢٦ - ١,٠٠
= ١٨,١٧ متراً

ويلاحظ أن صفر القامة فى شكلى (١١٨ ، ١١٩) يرتفع بمقدار متر واحد عن تدريج القامة . ويمكن إستعمال قامة عادية مع الجهاز .

الباب الثالث عشر

طريقة الظلال

(Tangent System)

يمكن فى هذه الطريقة تعيين المسافة الأفقية والبعد الرأسى باستعمال تيودوليت عادى والأرصاد المطلوبة هى الزاوية الرأسية التى رأسها عند الجهاز ووترها مسافة معلومة بين هدفين ثابتين على قامة أو شاخص ، وهذا يتطلب توجيه المنظار مرتين على القامة الموضوعة رأسياً فوق النقطة المطلوب إيجاد بعدها وتقرأ الشعرة الوسطى على القامة وقيمة الزاوية الرأسية فى كل مرة .

نفرض أن المطلوب إيجاد المسافة الأفقية (ف) بين نقطتين مثل (ى ، م) الأشكال (١٢٠ ، ١٢٣) وكذلك الفرق بين منسوبيهما . نضع القامة رأسية فوق أحديهما ولتكن (ى) والجهاز فوق (م) .

حالات طريقة الظلال

أولاً ــ عندما تسمح طبيعة الأرض بقراءة القامة وخط النظر أفقى :

نأخذ نظرة أفقية (س ب) إلى قامة فى نهاية الخط عند (ى) ثم نظرة مائلة (س ا) إلى أعلى شكل (١٢٠) أو إلى أسفل (١٢١) حسبما تسمح به طبيعة الأرض . نعين زاوية الارتفاع (فى الحالة الأولى) أو زاوية الانخفاض (فى الحالة الثانية) .

نفرض أن ب القراءة على القامة وخط النظر أفقى .

ا = القراءة على القامة وخط النظر يميل على الأفقى بزاوية قدرها (ن) .

هـ = الفرق بين القراءتين أو الهدفين الثابتين على القامة .

$$\text{المسافة الأفقية} = \frac{\text{قراءة}_ا - \text{قراءة}_ب}{\text{ظا}\,هـ} = \frac{هـ}{\text{ظا}\,هـ} \qquad \ldots\ (٧٣)$$

$$\text{منسوب}_ء = \text{منسوب م} + \text{إرتفاع الجهاز} - \text{القراءة}_ب \qquad \ldots\ (٧٤)$$

ثانياً ــ عندما لا تسمح طبيعة الأرض بأخذ نظرات أفقية :

١ ــ نوجه المنظار إلى القامة أولاً بزاوية ميل (هـ) وتدون قراءة القامة .

٢ ــ نغير زاوية الميل ولتكن (ى) وندون القراءة الناتجة على القامة وفى شكلى (١٢٢ ، ١٢٣) .

ا ط = ف ظاهـ ، ب ط = ف ظا ى

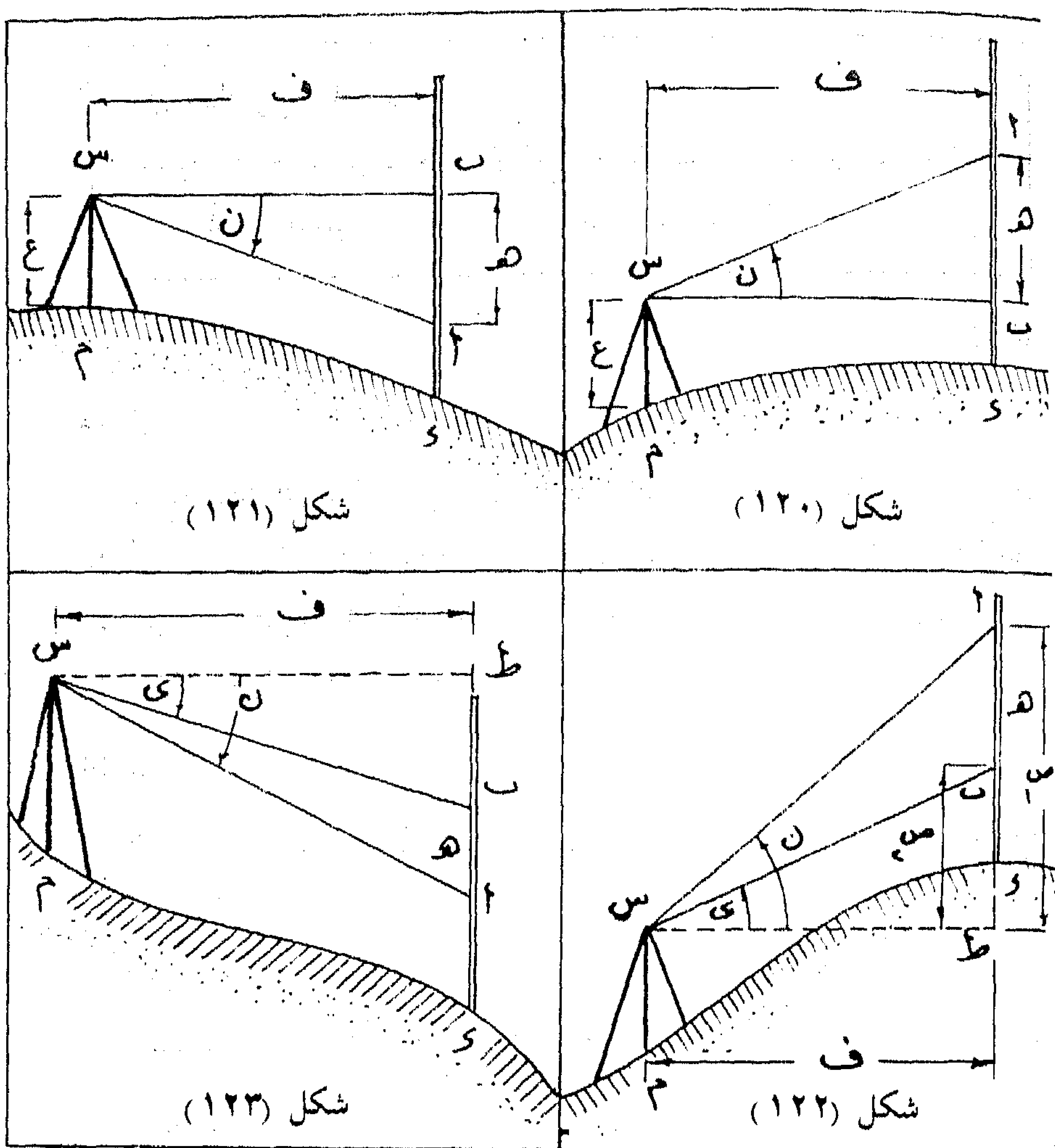
ا ط ــ ب ط = هـ = ف (ظاهـ ــ ظا ى)

$$\text{المسافة الأفقية} = \frac{\text{قراءة}_ا - \text{قراءة}_ب}{\text{ظا}\,هـ - \text{ظا ى}} = \frac{هـ}{\text{ظا}\,هـ - \text{ظا ى}} \qquad \ldots\ (٧٥)$$

$ص_١$ = ف ظاهـ ، $ص_٢$ = ف ظا ى

ولو كانت الزاويتان هـ ، ى أحداهما زاوية إرتفاع والأخرى إنخفاض .

$$ف = \frac{هـ}{\text{ظا}\,هـ + \text{ظا ى}} \qquad \ldots\ldots\ (٧٦)$$



شكل (١٢٠) شكل (١٢١) شكل (١٢٢) شكل (١٢٣)

وفى حالة زاوية إرتفاع :

منسوب ى = منسوب م + ارتفاع الجهاز (ع) + ف ظا ى ـ ب ى

أو = منسوب م + ارتفاع الجهاز + ف ظا هـ ـ أ ى

(٧٧) ......

وفى حالة زاوية انخفاض :

منسوب ء = منسوب م + ارتفاع الجهاز ـــ ف ظا ى ـــ ب ء

أو = منسوب م + ارتفاع الجهاز ـــ ف ظا هـ ـــ ا ء

(٧٨) ......

مثـــال :

وضع جهاز فى نقطة حـ وكانت زاويتا ارتفاع نقطتين على قامة فوق ب هما ١٤ ٢′ ٥٢ ، ٣٦′ ٥° عندما كانت قراءة القامة ٠,٢٠ ، ١,٢٠ مترا على الترتيب . ما هى المسافة الأفقية ب حـ وما منسوب ب إذا كان منسوب حـ = ١٣٧,١٤ مترا وارتفاع الجهاز = ١,٥٠ متر ؟.

الحـــل :

ف = (١,٢٠ ـــ ٠,٢٠) / (ظا ٣٦′ ٥° ـــ ظا ١٤′ ٥٢) = ١٦,٩٣ مترا

ص = ١٦,٩٣ ظا ١٤′ ٢ ٥٢ = ٠,٦٦ مترا

منسوب ب = ١,٥٠ + ١٣٧,١٤ + ٠,٦٦ ـــ ٠,٣٠ = ١٣٩,١٠ مترا

ولتحقيق العمل :

ص١ = ١٦,٩٣ ظا ٣١′ ٥.٥ = ١,٦٦ مترا

منسوب ب = ١٣٧,١٤ + ١,٥٠ + ١,٦٦ ـــ ١,٢٠ = ١٣٩,١٠ مترا

ثالثاً ـــ عند تثبيت المسافة المقطوعة على القامة :

ويطلق على هذه الطريقة طريقة القاعدة الرأسية وفيها تثبت المسافة المقطوعة على القامة هـ . وتتغير الزاويتان الرأسيتان هـ ، ى حسب طول المسافة الأفقية وفرق الأرتفاع .

فى شكل (١٢٠) :

$$ف = \frac{هـ}{ظا هـ - ظا ى}$$

فى المثلث ا س ط :

$$\frac{هـ}{جا (هـ - ى)} = \frac{ف / جتا ى}{جا (٩٠ - هـ)} \quad أو \quad ف = \frac{هـ \ جتا هـ \ جتا ى}{جا (هـ - ى)}$$

$$\therefore ف = هـ \ جتا هـ \ جتا ى \ قتا (هـ - ى) \quad .... (٧٩)$$

وغالباً تأخذ هـ (المسافة المقطوعة على القامة) مساوية ١ متر .

وفى المثال السابق وبتطبيق هذه المعادلة نجد أن :

ن = ٣٦ َ ٥٥ ° ى = ١٤ َ ٥٢ ° ∴ هـ ـ ى = ٢٢ َ ٥٣ °

هـ = ١ متر

∴ ف = ١ × جتا ٣٦ َ ٥٥ ° × جتا ١٤ َ ٥٢ ° قتا ٢٢ َ ٥٣ °

= ١ × ٠,٩٩٥٢٣ × ٠,٩٩٩٢٤ × ١٧,٠٢٨

= ١٦,٩٣ مترا

طرق عملية لتسهيل حساب معادلات طريقة الظلال

١ ـ طريقة بارسناس :

تتلخص هذه الطريقة فى أخذ الزاويتين هـ ، ى بحيث أن الفرق بين ظليهما = ٠,٠١ وبذلك تؤول المسافة الأفقية إلى ١٠٠ هـ ، وتصبح المسافة الرأسية هـ ، ٢ هـ ، ٣ هـ ... حسب الزاوية المستعملة .

جدول (١٩)

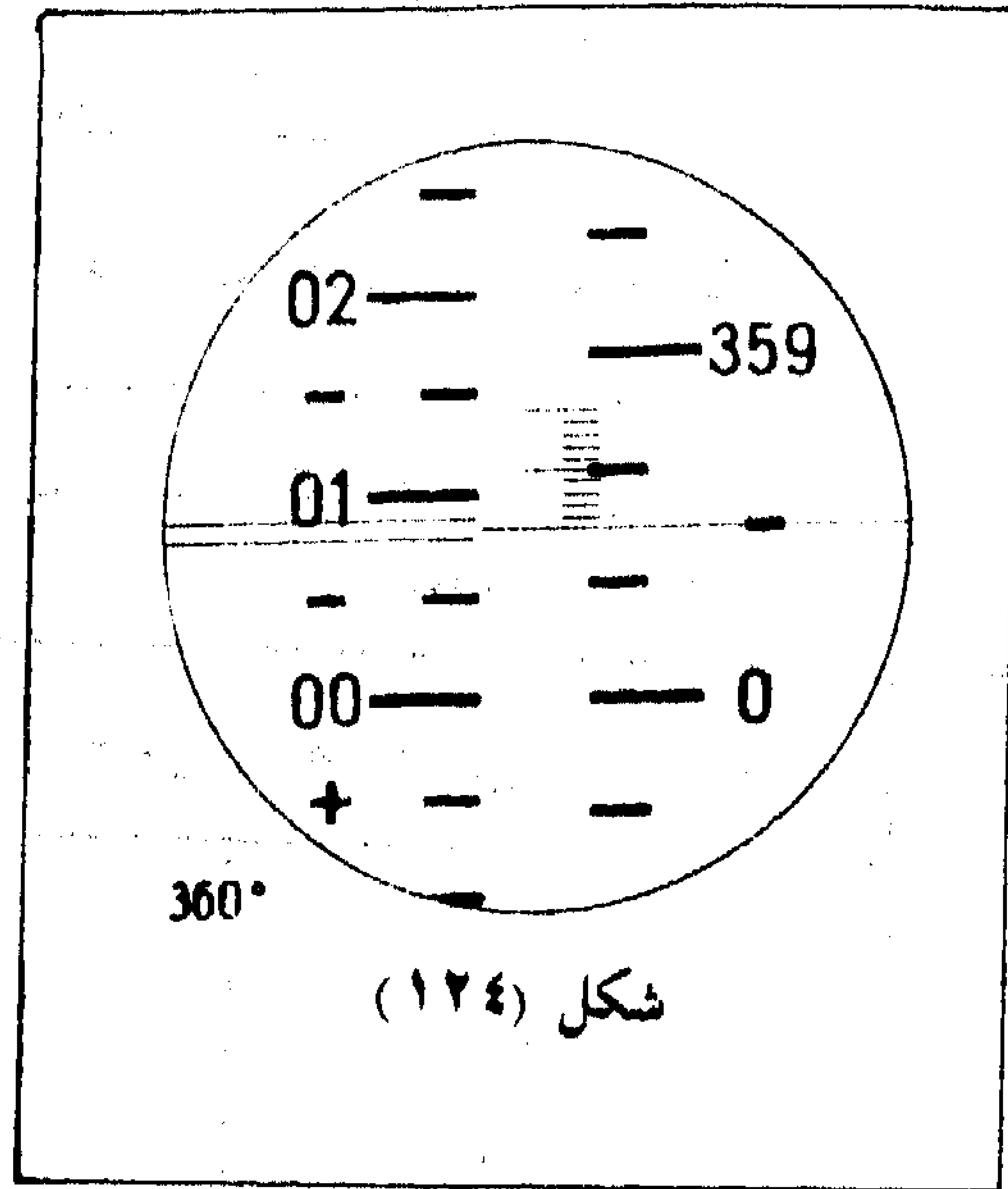
الزاوية	الظل	الزاوية	الظل
٢٣″ ٣٤′ ٥٠	٠,٠١	٤٥″ ٥١′ ٥٢	٠,٠٥
٤٥ ٠٨ ١	٠,٠٢	٠١ ٢٦ ٣	٠,٠٦
٠٦ ٤٣ ١	٠,٠٣	١٥ ٠٠ ٤	٠,٠٧
٢٦ ١٧ ٣	٠,٠٤	٢٦ ٣٤ ٤	٠,٠٨

فى مثل هذه الطريقة ، وإن كان يمكننا القيام بالعمليات الحسابية ذهنياً ، إلا أنه يصعب كثيراً أن نوقع الزوايا بالدقة المطلوبة بأى تيودوليت عادى ولذا لا يكثر إستعمال هذه الطريقة .

٢ ــ تاكيومتر (Szpessy)

وهو نوع كثير الأنتشار والاستعمال . ولقد تغلب الأستاذ المجرى (Szpessy) على العيب الذى يؤخذ على طريقة الظلال وهو وجوب توجيه المنظار مرتين إلى الهدف ، وفى كل مرة نحسب ظل الزاوية ، ونفذه فى التاكيومتر المسمى باسمه .

فى هذا الجهاز يوضح مقياس للظلال محفور على لوح دائرى من الزجاج ومتصل بغطاء الدائرة الرأسية حتى يدور أثناء دوران المنظار ويمكن رؤيته خلال منظار صغير مجاور له ومقياس الظلال مقسم إلى أقسام كل منها يساوى ٠,٠٠٥ ومدرج كل قسمين (أى كل ٠,٠١) ولكن التدريج المكتوب هو ١٠٠ × ظل الزاوية بدلاً من ظل الزوايا نفسها كما هو فى شكل (١٢٤) ، فمثلا بدلا من (٠,٠١) يكتب (١) وهكذا . وقد بين أمام تدريج الارتفاع علامة (+) وأمام تدريج الانخفاض علامة (−) .



شكل (١٢٤)

طريقة العمل :

١ ـ نوجه المنظار إلى القامة ونجعل الشعرة الأفقية على قسم صحيح فى المقياس بواسطة مسمار الحركة البطيئة للدائرة الرأسية ولتكن قراءة المقياس (ق١) ثم نقرأ القامة .

٢ ـ نحرك المنظار حتى تصبح الشعرة الأفقية على آخر قسم صحيح (ق٢) ونقرأ القامة مرة أخرى . وإذا جعلنا ق٢ قسمين أو تدريجين متتاليين فإن :

$$ف = \frac{\text{الفرق بين قراءتى القامة}}{ق_٢ - ق_١} = \frac{\text{الفرق بين قراءتى القامة}}{٠,٠١}$$

= ١٠٠ × الفرق بين قراءتى القامة .

أى أن الفرق بين قراءتى القامة بالسنتيمترات يساوى المسافة الأفقية بالأمتار .

٣ ــ لإيجاد البعد الرأسى بين سطح الجهاز وأى نقطة .

ص = المسافة الأفقية × قراءة المقياس = ف ظاھ

٤ ــ لتعيين قياسات يكون من الأفضل ألا يكتفى بأخذ قراءتين فقط على القامة بل يجب تسلسل القراءة عليها مع تسلسل وحدات المقياس الخاص بقدر ما تسمح به طول القامة ثم نأخذ المتوسط . الجدول (٢٠) يبين مثال :

جدول (٢٠)

قراءة المقياس الخاص	القراءة على القامة (م)	الفرق (م)
٦	٠,٧٦	
٧	١,٢٩	٠,٥٣
٨	١,٨٣	٠,٥٤
٩	٢,٣٦	٠,٥٣
١٠	٢,٩٠	٠,٥٤

مجموع الفروق = ٢,١٤ المتوسط = ٠,٥٣٥

المسافة = ١٠٠ × ٠,٥٣٥ = ٥٣,٥ مترا

٥ ــ إذا كانت القامة قريبة كثيراً من الجهاز فيمكن أخذ قراءة القياس كل وحدتين معاً ، وفى هذه الحالة يكون الثابت التاكيومترى ٥٠ بدلاً من ١٠٠ وإذا أخذنا القراءة كل خمس وحدات مثلاً فيكون الثابت التاكيومترى ٢٠ . أما إذا كانت المسافة بين القامة والجهاز كبيرة جداً فيمكن أخذ القراءات على المقياس الخاص كل نصف قسم وفى هذه الحالة يكون الثابت التاكيومترى ٢٠٠ .

مثال : أخذت القراءات الآتية على قامة فوق ا بواسطة تاكيومتر Szpessy موضوع فوق نقطة ب .

قراءة القامة	قراءة مقياس الظلال
٥,١٩	٠,٢٦٥
٤,٢١	٠,٢٦٠
٣,٢٣	٠,٢٥٥

أوجد المسافة ب ا ومنسوب ا .

المسافة الأفقية ا ب = (٥,١٩ — ٣,٢٣) / (٠,٢٦٥ — ٠,٢٥٥) = ١٩٦ مترا

ص = ١٩٦ × ٠,٢٦ = ٥٠,٩٦ مترا

منسوب ا = ٧٠,٦١ + ١,٣٥ + ٥٠,٩٦ — ٤,٢١

= ١١٨,٧١ مترا

ويلاحظ إننا استعملنا القراءة ٤,٢١ مع قراءة المقياس ٠,٢٦٠ .

ولو أوجدنا ص بالقراءة ٠,٢٦٥ مثلاً لاستعملنا ٥,١٩ عند إيجاد المنسوب كما يلى :

ص = ٠,٢٦٥ × ١٩٦ = ٥١,٩٤ مترا

منسوب ا = ٧٠,٦١ + ١,٣٥ + ٥١,٩٤ — ٥,١٩

= ١١٨,٧١ مترا

الباب الرابع عشر
طريقة قضيب الأنفار
Invar Subtense Bar

كانت مصلحة المساحة بالهند أول من استعمل هذه الطريقة فى أواخر القرن التاسع عشر .

وتعتبر طريقة قضيب الأنفار من أهم طرق التاكيومترية لتعدد مزاياها وتنوع استعمالاتها ويمكن قياس مسافات بهذه الطريقة حتى ٩٠٠ متر . وطريقة قضيب الأنفار هى إحدى طرق المجموعة الأولى حيث القاعدة ثابتة عند موضع الهدف وتتغير زاوية البرالاكس حسب المسافة المقيسة وحسب وضع القضيب بالنسبة للخط المقيس .

وأساس هذه الطريقة هو قياس زاوية البرالاكس المحصورة بين طرفى قضيب ذى طول معين موضوع أفقياً عند أحد طرفى الخط ويتم قياس هذه الزاوية بواسطة التيودوليت عند الطرف الآخر للخط .

نظرية القياس :

تتلخص نظرية القياس بهذه الطريقة فيما يلى :

١ ــ عند تحديد مسافة معينة ا ب مثلاً ــ فيتم ذلك بواسطة قضيب الأنفار المحدد الطول بعلامتين (ل ، ط) يحصران مسافة معلومة ومحددة وبدقة تامة ولتكن هـ شكل (١٢٥) .

٢ ــ يثبت القضيب أفقياً على حامل فوق نقطة ا وبحيث يكون عمودياً على الخط (ا ب) المراد قياسه . ثم يوضع فى الطرف ب تيودوليت لقياس الزاوية الأفقية (زاوية البرالاكس) بين نهايتى الذراع ل ، ط ، وهذه الزاوية

لا تتأثر باختلاف منسوب التيودوليت عن منسوب الذراع حيث زاوية البرالاكس المقاسة هى الزاوية الأفقية شكل (١٢٦) .

المسافة الأفقية (ا ب) ف = $\frac{ل}{٢}$ ظتا $\frac{س}{٢}$	.... (٨٠)

فرق الارتفاع ص = ± ف ظاهـ

منسوب ا = منسوب ب + ارتفاع التيودوليت عند ب ± ص ـ ارتفاع حامل القضيب فوق ا

...... (٨١)

دقة القياس :

وتتوقف الدقة فى حساب المسافة بهذه الطريقة على العوامل الآتية :

١ ـ درجة دقة قياس زاوية البرالاكس (وتتوقف على دقة التيودوليت وعدد مرات رصد الزاوية) .

٢ ـ تعامد قضيب الأنفار على الخط المقيس .

٣ ـ أفقية القضيب .

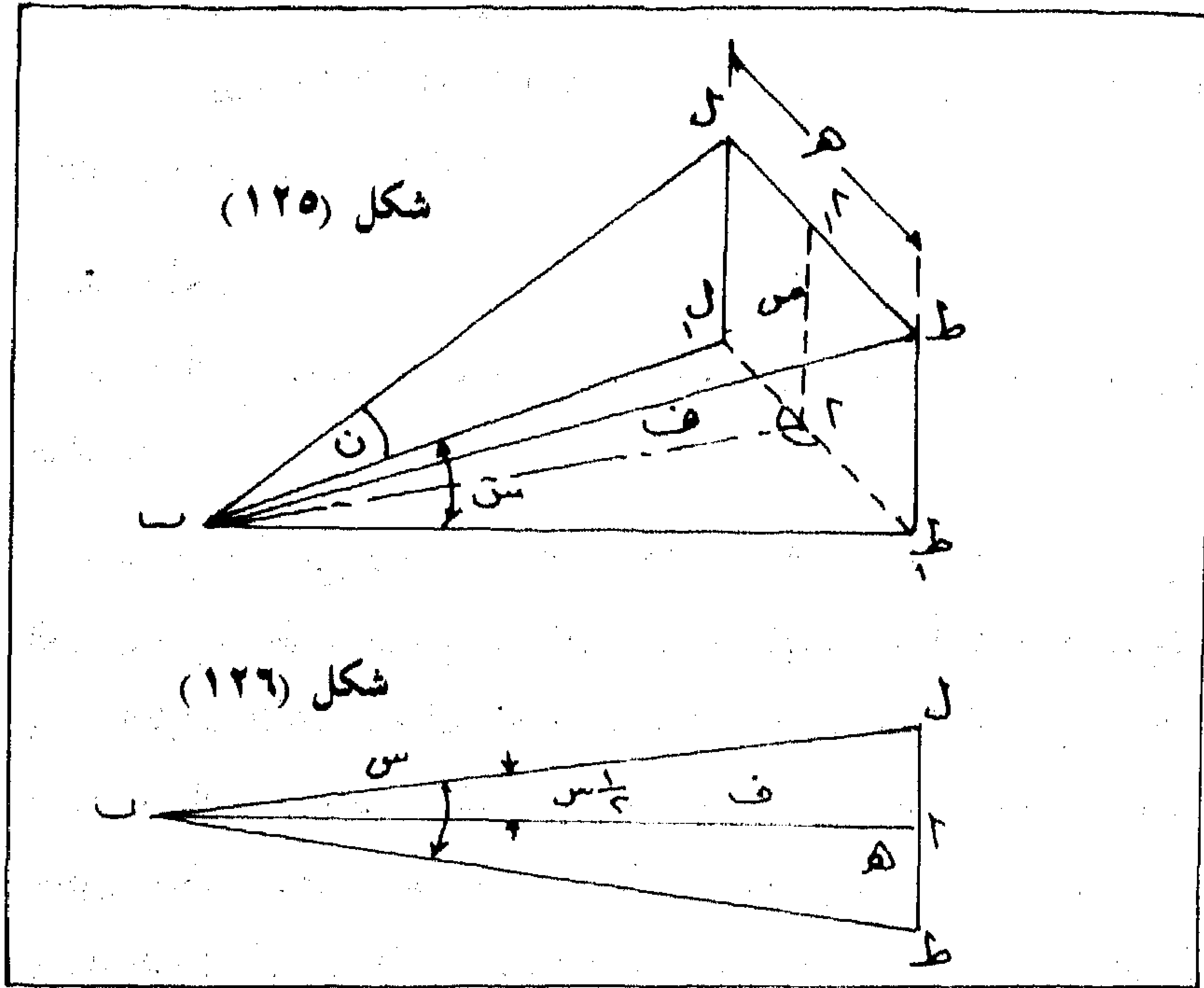
٤ ـ أوضاع القضيب المختلفة بالنسبة لطول المسافات المقاسة .

ويعتبر العامل الأول والأخير من العوامل ذات التأثير الكبير على درجة الدقة بينما لا تتأثر هذه الدقة بالعاملين الثانى والثالث تأثيراً كبيراً .

مميزات الطريقة :

وتتميز طريقة قضيب الأنفار عن الطرق الأخرى بالميزات التالية :

١ ـ استعماله أسهل من القياس المباشر بالشريط .



٢ ــ الحصول على المسافة الأفقية مباشرة وبدقة عالية جداً ولا تحتاج إلى حسابات معقدة .

٣ ــ لا تتأثر المسافة المقاسة بالتغير فى درجة الحرارة أو طبوغرافية المنطقة .

٤ ــ يمكن قياس خطوط تصل إلى كيلو متر واحد تقريباً باتخاذ أوضاع مختلفة للقضيب وبدقة عالية جداً لا تتوفر فى أى أجهزة تاكيومترية أخرى .

استعمالات الجهاز :

يستعمل قضيب الأنفار فى الأعمال المساحية التى تحتاج إلى دقة عالية فى قياس الأطوال ويمكن حصرها فيما يلى :

١ ــ قياس خطوط المضلعات (الترافرسات) .

٢ ــ أعمال الربط الأرضى فى المساحة الفوتوجرامترية .

٣ ــ تعيين أطوال خطوط قواعد المثلثات (الدرجتين الثالثة والرابعة) .

٤ ــ أعمال مساحة الأنفاق والمناجم .

٥ ـــ أعمال توقيع وتخطيط المشروعات .

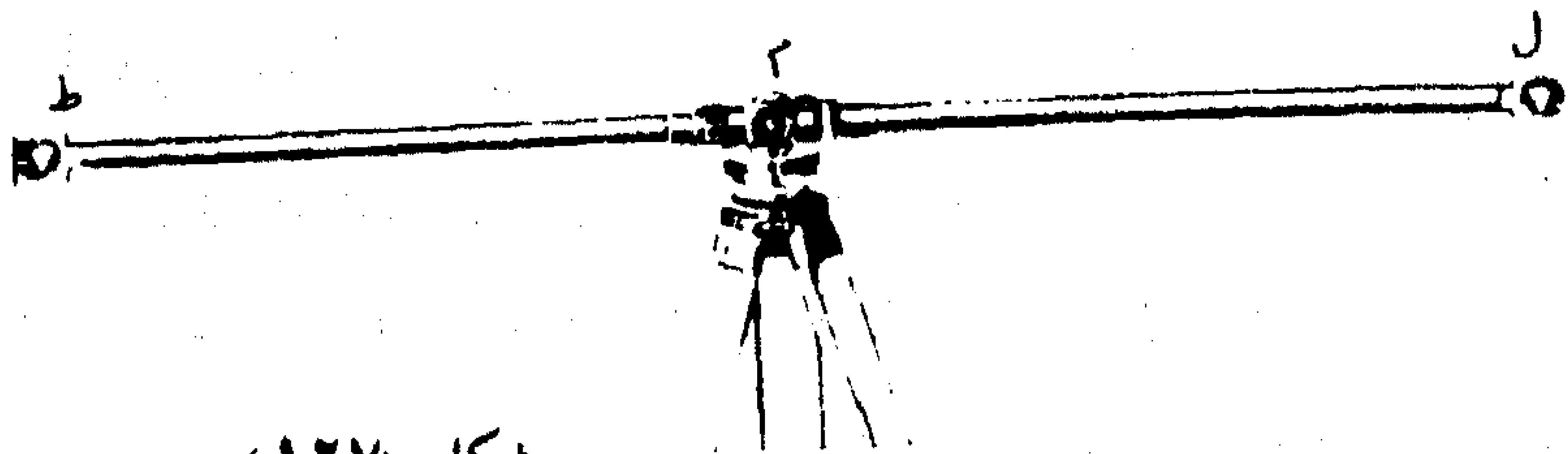
٦ ـــ تحديد أطوال ثابتة لمعايرة الشرائط ولتعيين ثوابت الأجهزة المساحية كالثابت التاكيومترى والإضافى .

وصف الجهاز :

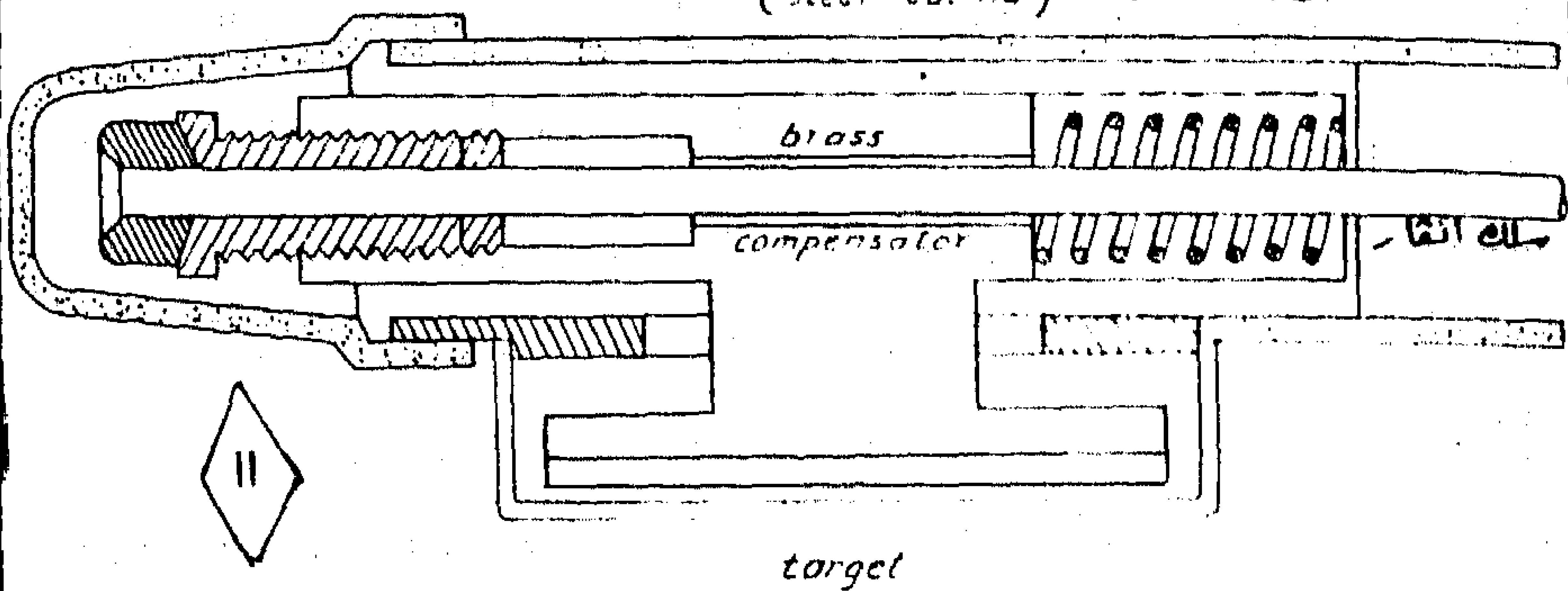
توجد أنواع عديدة منه ولكنها تتفق جميعها فى أساس الاستعمال والتركيب العام لها .

وهو يتركب من ذراعين شكل (١٢٧) كل منهما عبارة عن أنبوبة من الصلب مفرغة طولها متراً واحداً تقريباً ، ويربطهما عند أحد طرفيهما مفصلة وعند الطرف الآخر قرصان زجاجيان بهما علامتان مثلثتا الشكل بداخل كل منهما زوجان من الخطوط شكل (١٢٨) ، أحد هذين الزوجين عبارة عن خطين سميكين للرصد البعيد والزوج الآخر خطين رفيعين للرصد القريب ، كما يوجد بداخل كل من المثلثين دائرة صغيرة أو فتحة مغطاه بزجاج أحمر اللون للرصد عليه ليلاً ويمكن رؤية العلامتين بوضوح حتى على بعد ٧٠٠ متر والمسافة بين هاتين العلامتين = ٢,٠٠٠ متر تماماً . وفى بعض الأجهزة كما فى قضيب (زايس) توجد علامة فى المنتصف على شكل معين شكل (١٢٩) . والذراعان يمكن طيهما على بعض . أو فتحهما على استقامة واحدة عند الاستعمال ، وبداخل كل ذراع سلك من الأنفار أحد طرفيه مثبت فى طرف الأنبوبة عند المفصلة والطرف الثانى مشدود إلى الخارج بواسطة زنبرك وبذا تظل المسافة بين العلامتين ثابتة وتساوى مترين تماماً إذا تمددت الأنبوبة أو أنكمشت نتيجة لتغير درجة الحرارة وشكل (١٣٠) يبين ذلك .

وعند منتصف القضيب مثبت منظار صغير (م) شكل (١٣١) محوره البصرى متعامد مع الخط الواصل بين علامتى الرصد وبوساطة هذا المنظار تجعل القضيب متعامداً على الخط المراد قياسه .

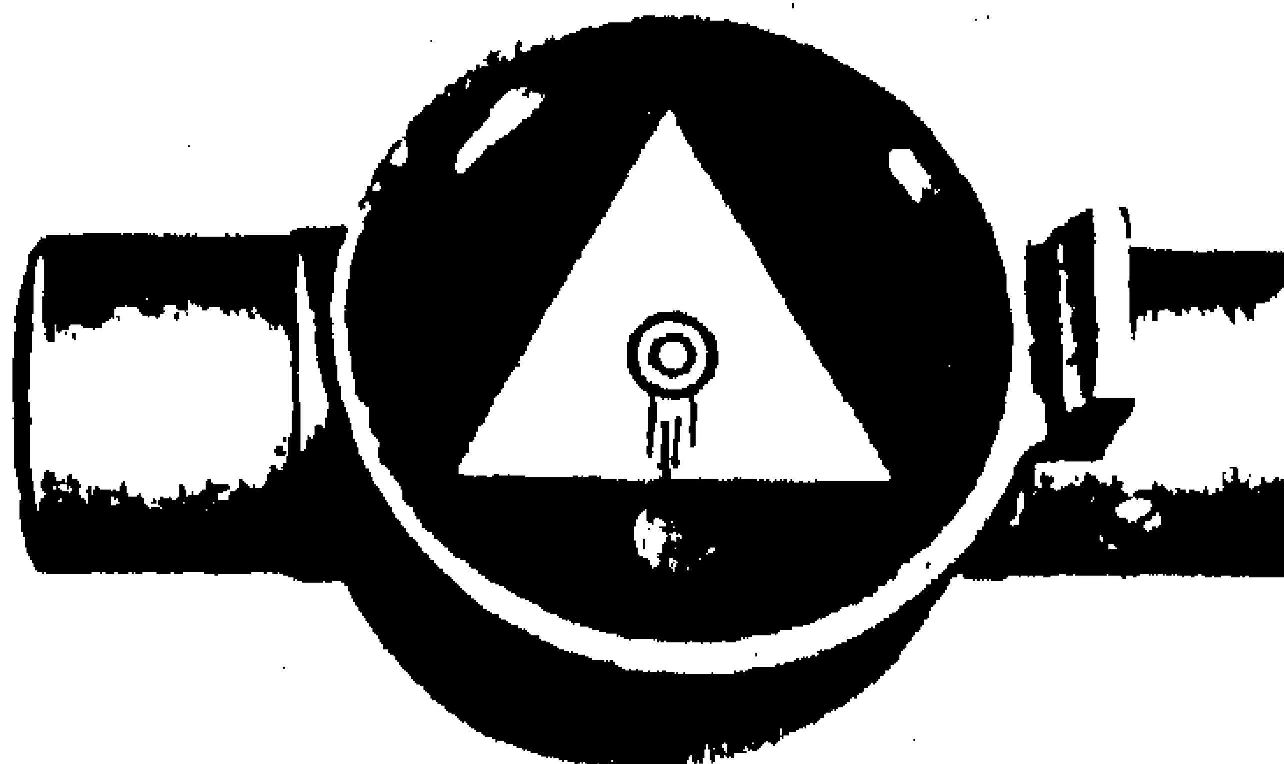


شكل (١٢٧)



شكل (١٣٠)

شكل (١٢٩)





شكل (١٢٨)

شكل (١٣١)

طريقة القياس :

لقياس مسافة ما مثل ا ب تجرى الخطوات التالية :

١ ـــ نثبت القضيب جيداً فوق حامله مسامتا أحد طرف الخط المراد قياسه وليكن نقطة (ا) بواسطة خيط وثقل الشاغول مع جعله أفقياً بالتقريب .

٢ ـــ نفتح ذراعى القضيب على استقامة واحدة ثم نجعله أفقياً تماماً بواسطة مسامير التسوية وميزان التسوية الدائرى المثبت فوق الحامل ومن ثم يكون الخط الواصل بين علامتى الرصد أفقى تماماً .

٣ ـــ ندير القضيب باليد حول محوره الرأسى حتى نرصد خلال المنظار الصغير (م) خيط شاغول التيودوليت المثبت فوق (ب) والمسامت لها وبذا يكون القضيب معد للقياس . (فى نوع زايس يوجد مثلث ضوئى داخل المنظار الصغير فيدار القضيب حتى ينطبق رأس المثلث الضوئى على خيط شاغول التيودوليت) .

٤ ـــ نوجه التيودوليت وهو فى وضع متيامن إلى العلامة اليسرى ونقرأ الدائرة الأفقية ثم نرصد العلامة اليمنى . وبطرح القراءتين نحصل على زاوية البرالاكس (س) وتكون المسافة الأفقية ف = $\frac{1}{2}$ هـ ظتا $\frac{1}{2}$ س .

وحيث أن هـ = ٢,٠ مترا

ف = ظتا $\frac{1}{2}$ س	.... (٨٢)

وذلك سواء أكان خط النظر أفقياً أو مائلاً لأن الزاوية المقاسة هى الزاوية الأفقية . ولإيجاد منسوب (ا) نطبق المعادلة (٨١) .

حالات القياس المختلفة

عند وضع قضيب الأنفار عند أحد طرفى الخط المراد قياسه ووضع التيودوليت فى الطرف الآخر نجد أن مقدار الخطأ النسبى المحتمل (فى حالة استخدام تيودوليت دقيق) فى استعمال القضيب بالنسبة إلى أطوال الخط المقاس يزيد بازدياد المسافة المقاسة فمثلاً تكون نسبة الخطأ إلى الطول ١ : ١٠٠٠٠ عند قياس خط طوله ٤٠ متر بينما تزيد هذه النسبة وتصل إلى ١ : ٥٠٠٠ عند قياس خط طوله ٨٠ متر ـــ ولما كانت هذه النسبة هى المسموح بها فى القياس فإنه يجب أن يأخذ القضيب أوضاعاً مختلفة نوردها فيما يلى الأشكال (١٣٢ ـــ ١٣٧) .

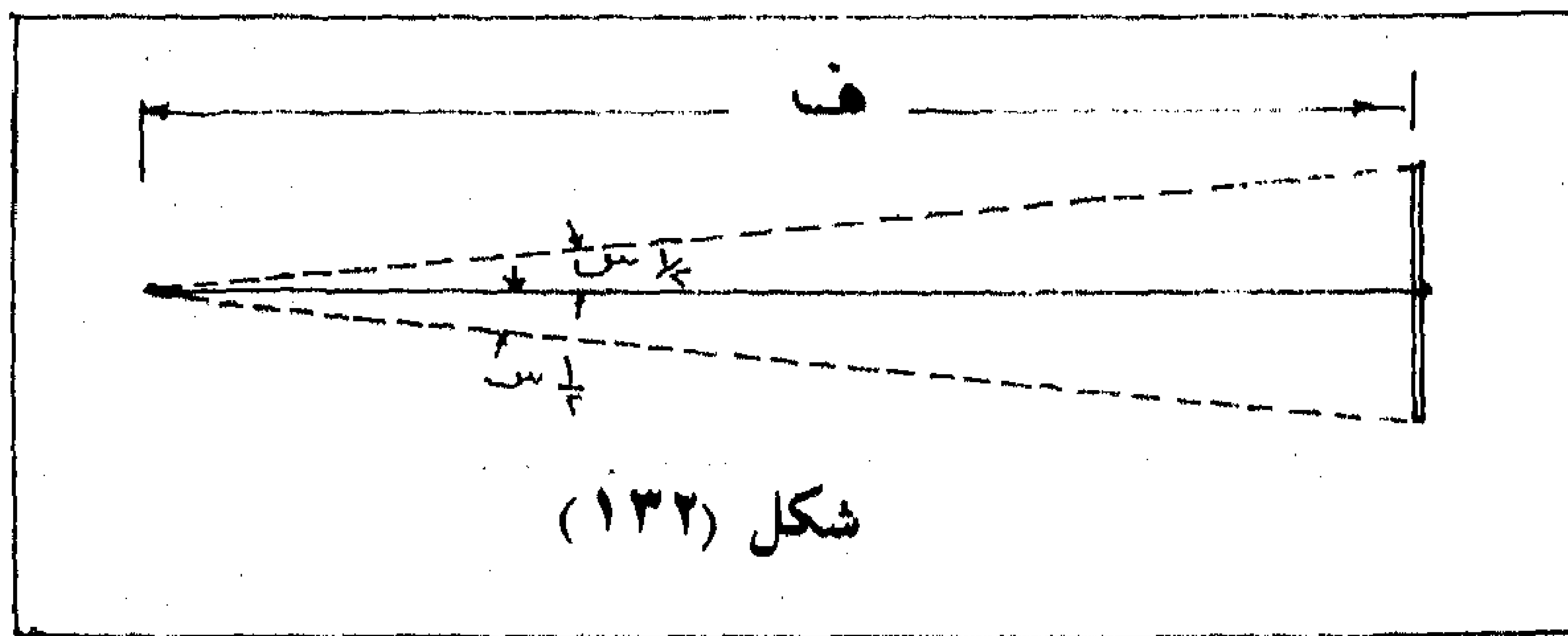
الوضع الأول : القضيب عند طرف الخط المقاس مباشرة :

وتصلح للمسافات حتى ٨٠ متر .

المسافة ف = ظتا $\frac{١}{٢}$ س شكل (١٣٢) .

الخطأ النسبى المحتمل ١ : ٦٠٠٠ لمسافة ٧٥ مترا

١ : ٥٠٠٠ لمسافة ٨٠ متر



شكل (١٣٢)

الوضع الثانى : القضيب يتوسط الخط المقاس مباشرة :

وتصلح للمسافات من ٨٠ متر حتى ١٦٠ متر . شكل (١٣٣) .

المسافة ف = $ف_1 + ف_2$

$= (ظتا \frac{1}{2} س_1 + ظتا \frac{1}{2} س_2)$ .... (٨٣)

الخطأ النسبى المحتمل ١ : ٨٠٠٠ لمسافة ١٥٠ متر .

الوضع الثالث : القضيب عند أحد طرفى الخط مع استعمال خط قاعدة مساعد :

ويصلح هذا الوضع للمسافات من ١٦٠ متر حتى ٣٥٠ متر .

والخطأ النسبى المحتمل ١ : ١٢٠٠٠ لمسافة ٣٠٠ متر .

ويتم ذلك بإحدى الطريقتين .

ا ـــ استعمال خط قاعدة مساعد يقع على جانب الخط المقاس (فى ناحية واحدة منه) شكل (١٣٤) :

١ ـــ نقيم الخط المساعد ($هـ_1$) متعامداً مع أحد طرفى الخط المراد قياسه .

٢ ـــ تقاس $هـ_1$ بوضع قضيب الأنفار فى نهايتها وذلك بقياس الزاوية الأفقية $س_1$ ثم تقاس $س_2$.

طول خط القاعدة المساعد$هـ_1$ = ظتا $\frac{س_1}{2}$

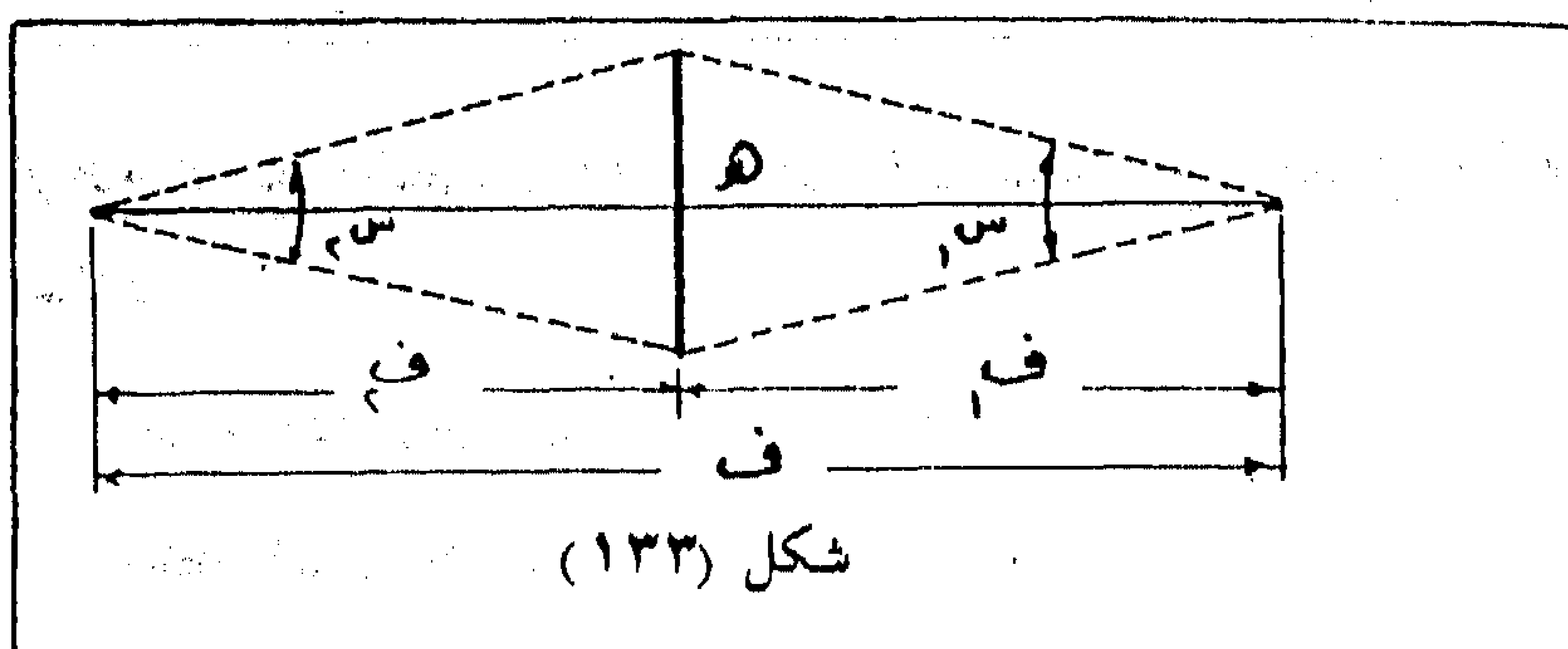
$= \sqrt{2\ ف}$ تقريباً .... (٨٤)

وهذا الطول هو الواجب اختياره عملياً .

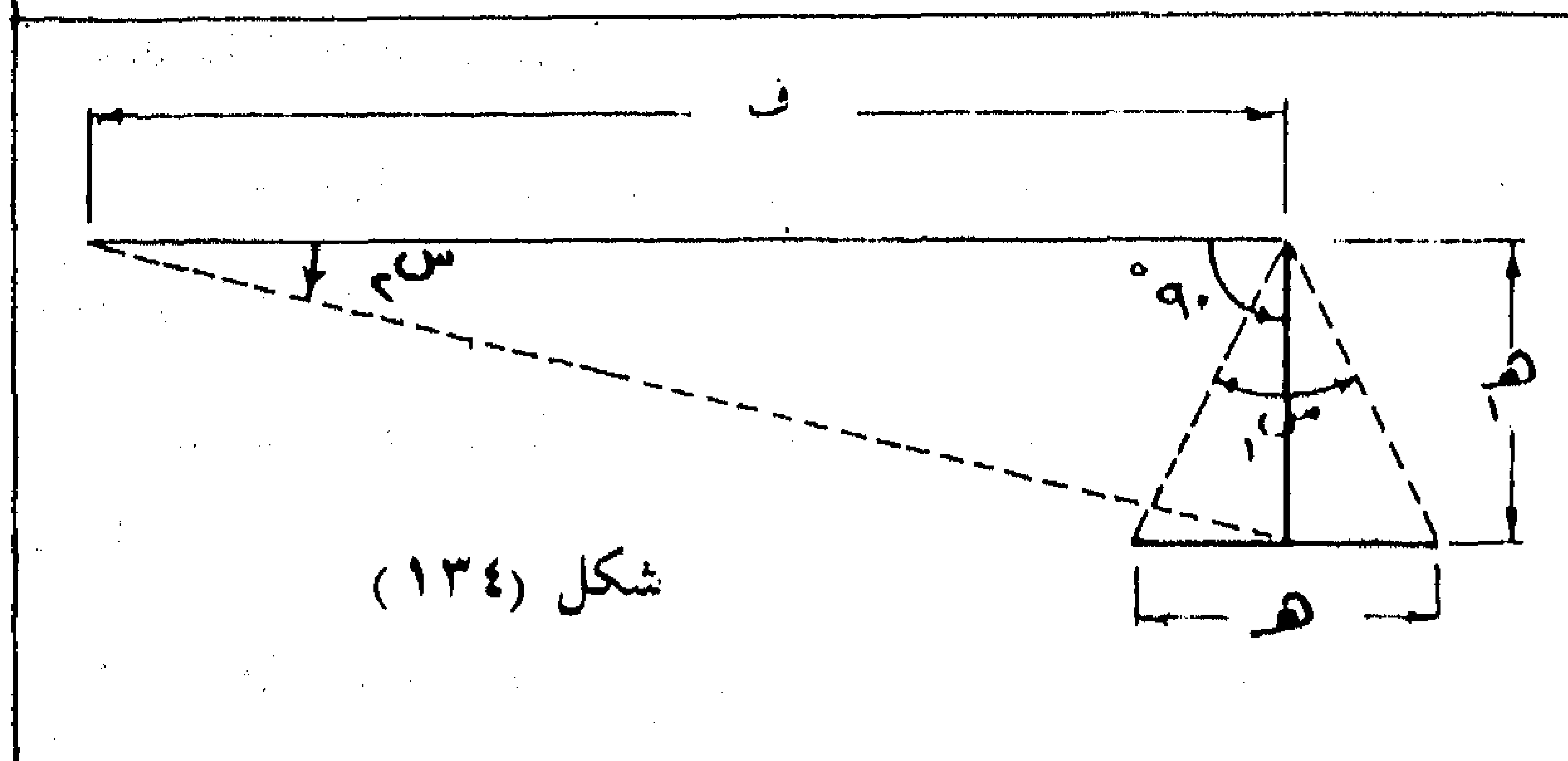
المسافة الأفقية ف = $ه_{١}$ ظتا $س_{٢}$

...... (٨٥)

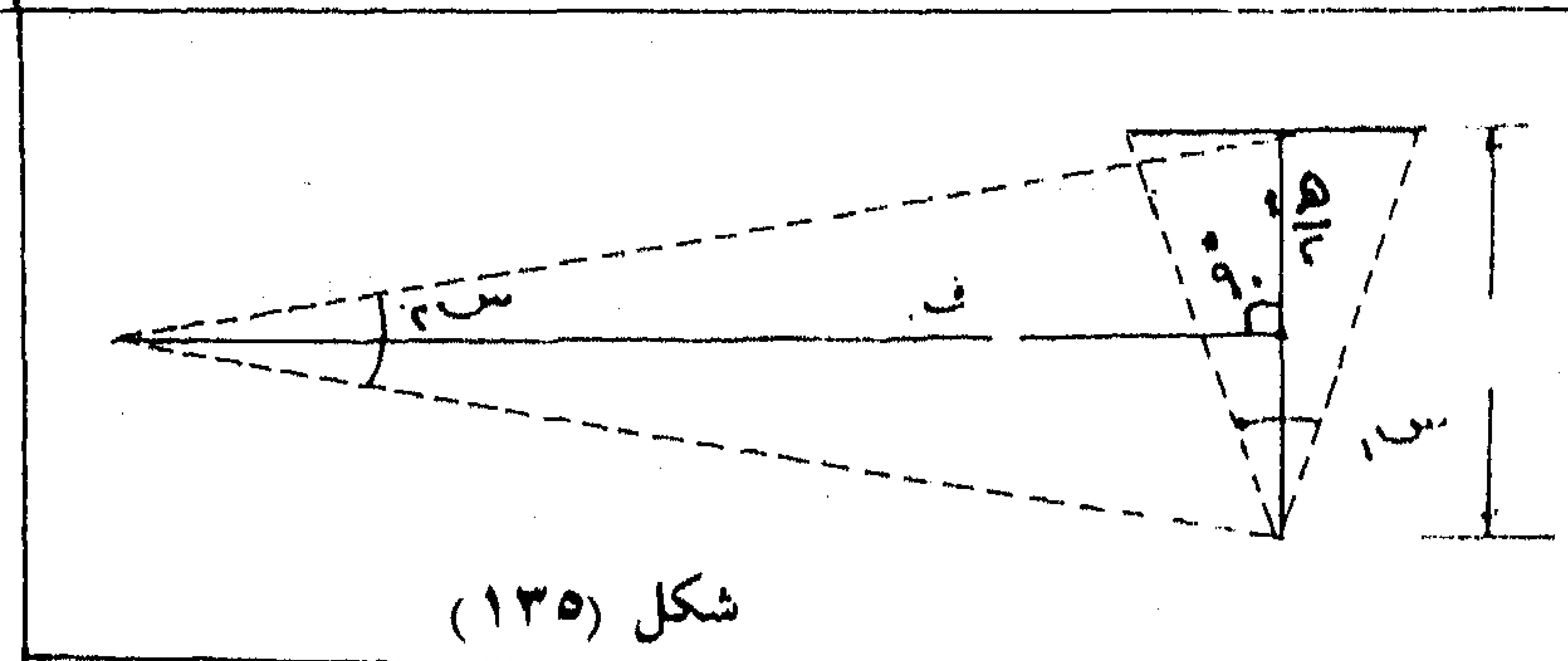
ب ـ خط القاعدة المساعد ينصفه الخط المقاس شكل (١٣٥) .



شكل (١٣٣)



شكل (١٣٤)



شكل (١٣٥)

$$\text{هـ}_{١} = \text{ظتا } \frac{١}{٢} \text{س}_{١} = \sqrt{٢ \text{ ف}} \text{ تقريباً} \qquad \ldots\ldots (٨٦)$$

$$\text{المسافة الأفقية ف} = \frac{\text{هـ}}{٢} \text{ ظتا } \frac{١}{٢} \text{س}_{٢} \qquad \ldots\ldots (٨٧)$$

الوضع الرابع : القضيب عند منتصف الخط المقاس مع استعمال خط قاعدة مساعد :

ويصلح هذا الوضع للمسافات من ٣٥٠ متر وحتى ٨٠٠ متر .

والخطأ النسبى المحتمل ١ : ١٤٥٠٠ لمسافة ٦٠٠ متر .

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

ا ـ خط القاعدة يقع على جانب الخط المقاس (فى ناحية واحدة منه) شكل (١٣٦) .

١ ـ نقيم الخط المساعد ($\text{هـ}_{١}$) متعامداً عند منتصف الخط المراد قياسه تقريباً .

٢ ـ تقاس ($\text{هـ}_{١}$) بوضع قضيب الأنفار فى نهايته وذلك بقياس الزاوية الأفقية $\text{س}_{١}$ ثم تقاس $\text{س}_{٢}$ ، $\text{س}_{٣}$.

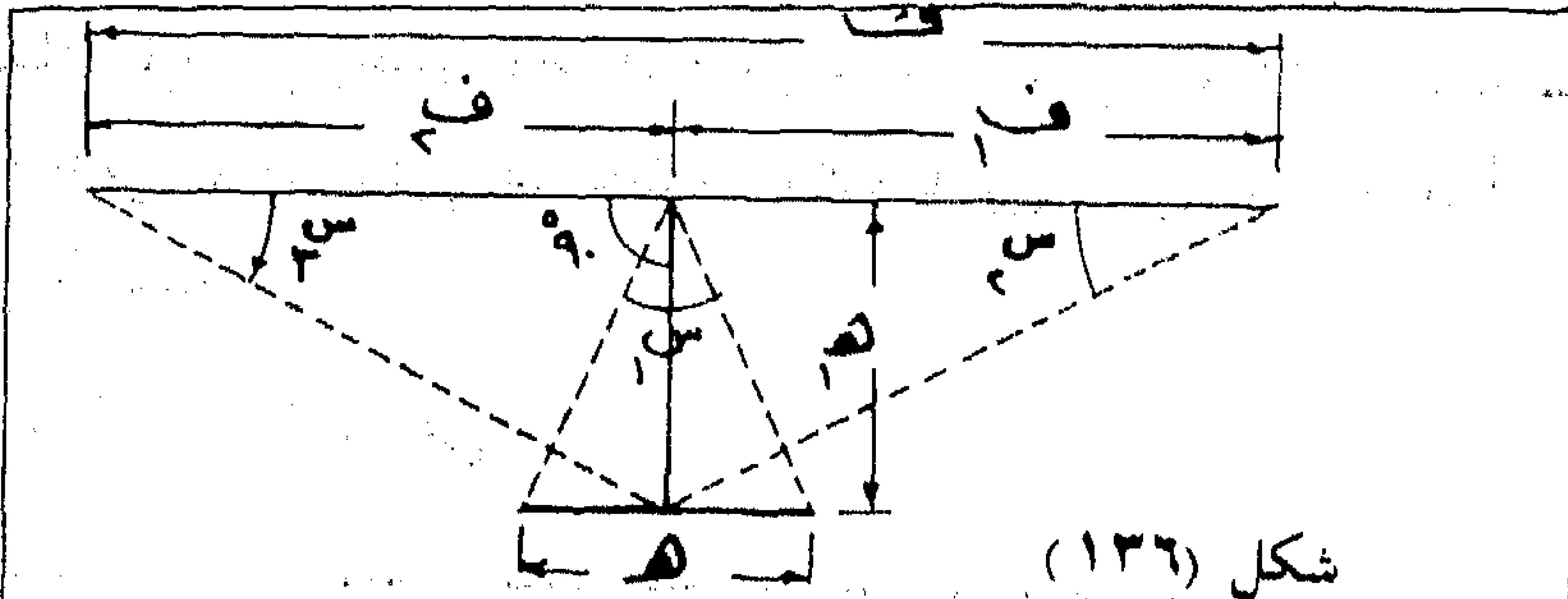
$$\text{طول خط القاعدة المساعد هـ}_{١} = \text{ظتا } \frac{١}{٢} \text{س}_{١} = ٠,٧ \sqrt{٢ \text{ ف}} \text{ تقريباً} \qquad \ldots\ldots (٨٨)$$

وهو الطول الواجب استعماله نظرياً .

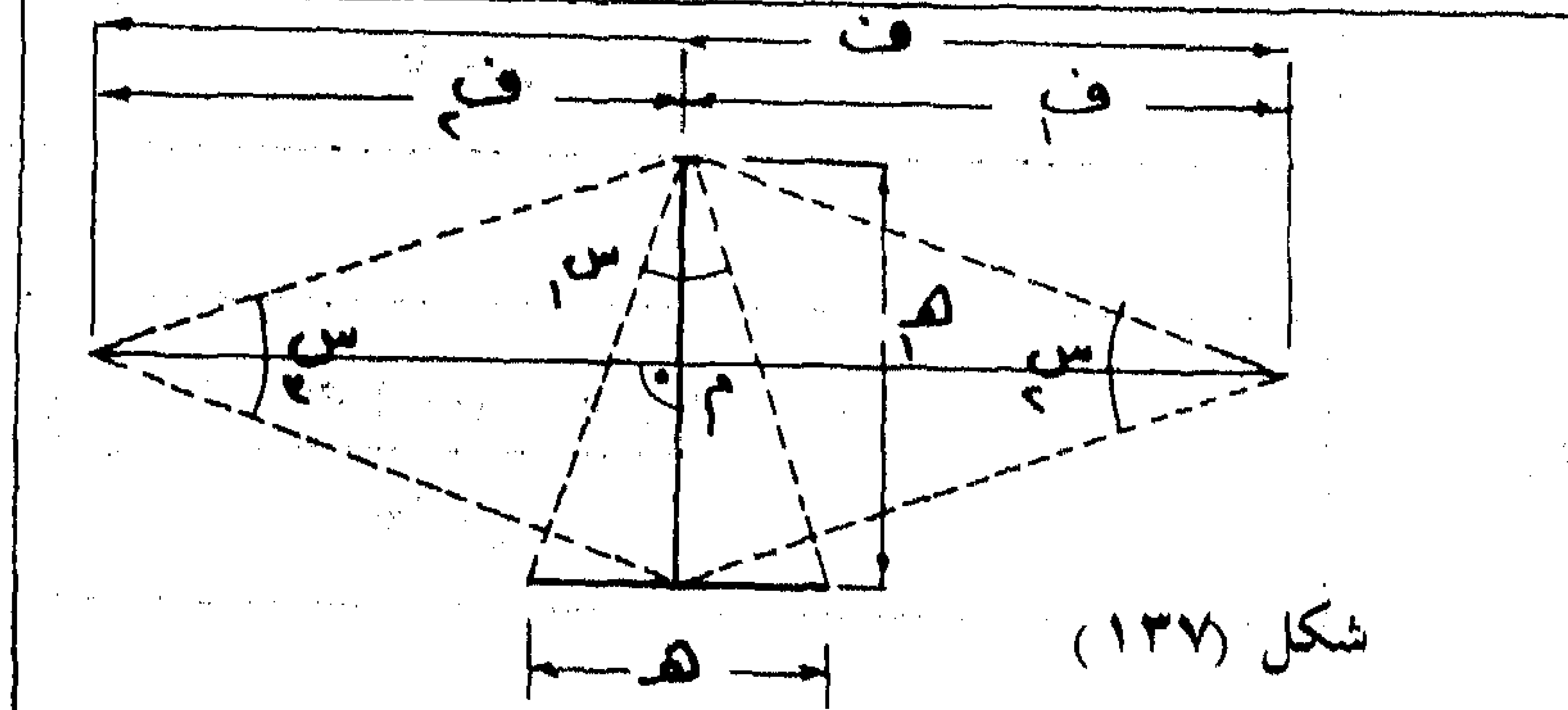
المسافة الأفقية ف = $هـ_{١}$ (ظتا $س_{٢}$ + ظتا $س_{٣}$) ...... (٨٩)

ب ـ خط القاعدة ينصف الخط المقاس شكل (١٣٧) .

$هـ_{١}$ = ظتا $\frac{١}{٢}$ $س_{١}$ = ٠,٧ $\sqrt{٢\,ف}$ ...... (٩٠)



شكل (١٣٦)



شكل (١٣٧)

$$\text{المسافة الأفقية ف} = \frac{هـ_1}{2} \left(\text{ظتا} \frac{س_2}{2} + \text{ظتا} \frac{س_3}{2} \right) \quad \ldots\ldots (91)$$

ويراعى فى هذه الطريقة أن تكون م هى منتصف $هـ_1$ تقريباً وبشرط ألا تبعد عن المنتصف بمقدار يزيد عن $\frac{ف}{400}$ حيث فرض فى المعادلة (٩١) أن الخط ينصف كل من $س_2$ ، $س_3$. ويمكن إهمال الخطأ الناشىء لو كانت المسافة بين م ومنتصف $هـ_1$ أقل من $\frac{ف}{400}$.

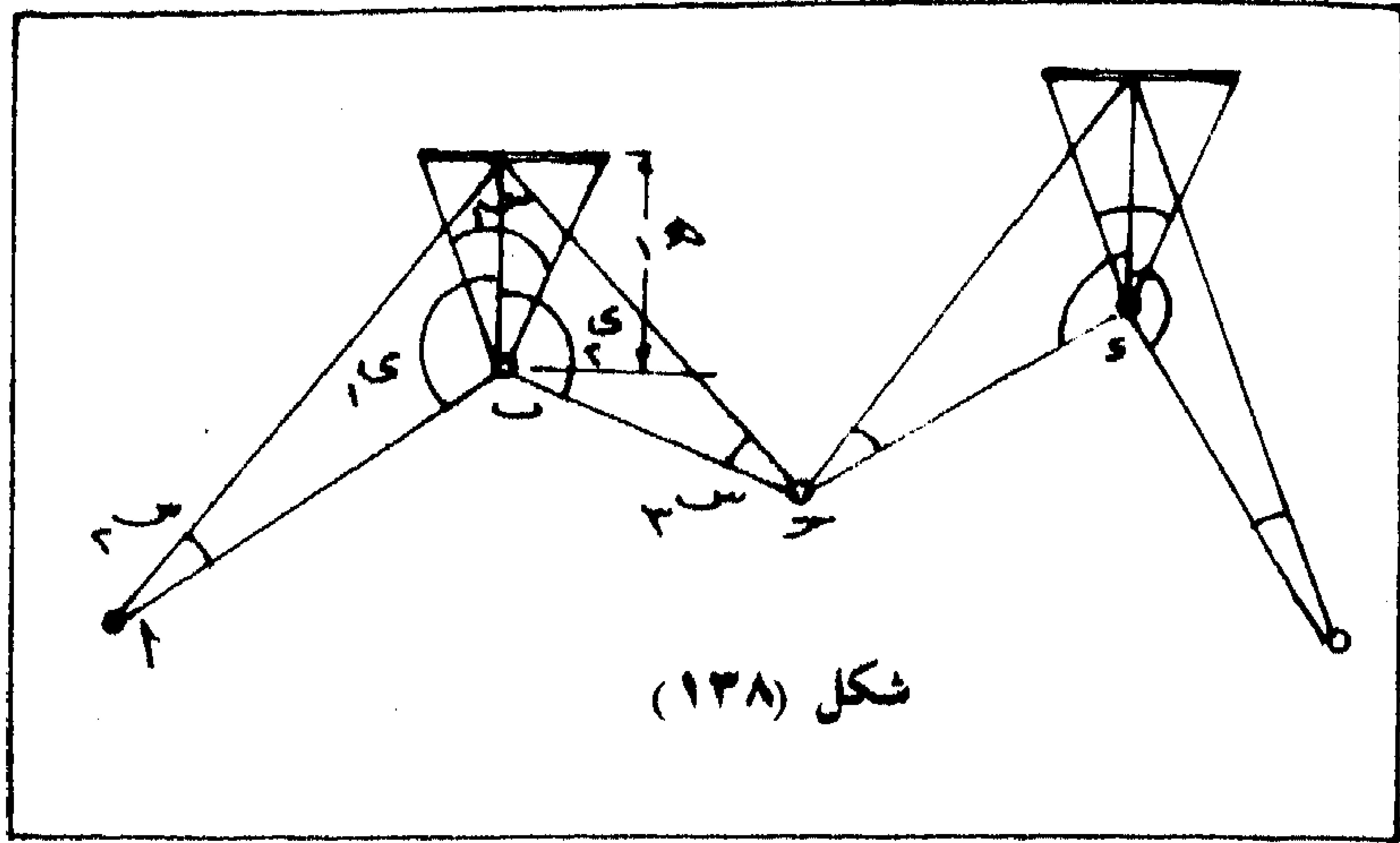
وعملياً وبالأخص عند قياس أطوال المضلعات نختار موضع خط القاعدة المساعد قريباً من إحدى نقط الترافرس ب مثلاً شكل (١٣٨) بحيث تقاس الزوايا $س_1$ ، $ى_1$ ، $ى_2$ عند نقطة ب والزوايا $س_2$ ، $س_3$ عند كل من ا ، حـ على الترتيب .

وتكون المسافات هى :

$$ف_1 = \frac{هـ_1 \text{ جا} (ى_1 + س_2)}{\text{جا } س_2} \quad \ldots\ldots (92)$$

$$ف_2 = \frac{هـ_1 \text{ جا} (ى_2 + س_3)}{\text{جا } س_3} \quad \ldots\ldots (93)$$

وتستعمل هذه الطريقة بنجاح تام فى المضلعات التى لا يزيد أطوال خطوطها عن ٣٥٠ متر حيث يمكن الحصول على دقة عالية فى أطوال الخطوط



شكل (١٣٨)

فضلاً عن سهولة تنفيذ هذه الطريقة حيث تقاس الخطوط والزوايا من وضع واحد لجهاز التيودوليت .

مثـــال :

عند قياس زوايا وأضلاع ا ب حـ ء وضع قضيب الأنفار قريباً من النقطة ب وذلك لقياس الضلعين ب ا ، ب حـ ووضع التيودوليت فوق ب وأخذت القراءات على الدائرة الأفقية من الوضع المتيامن فكانت :

إلى ا ٠٠″ ٠٠′ ٠٠° إلى حـ ٠٠″ ٤٠′ ٢٤٨°

إلى الطرف الأيسر ٢٠ ٣٠ ١٢٠ إلى ا ٢٠″ ٠٠ ٠٠

إلى الطرف الأيمن ٢٠″ ٣٠′ ١٢٤°

عين المسافتين ا ب ، ب حـ إذا كانت الزاويتين عند ا ، حـ ومنتصف القضيب هى ٤٠′ ٣° ، ٢٠′ ٤° على الترتيب .

الحـــل :

كما فى شكل (١٣٨) وبعد تصحيح الاتجاهات تستنتج كل من الزوايا الثلاث س ، ى١ ، ى٢ كما يلى :

	الاتجاهات المقاسة			الاتجاهات المصححة		
ا	٠٠″	٠٠′	٠٠°	٠٠″	٠٠′	٠٠°
أيسر	٢٠	٣٠	١٢٠	١٥	٣٠	١٢٠
أيمن	٢٠	٣٠	١٢٤	١٠	٣٠	١٢٤
حـ	٠٠	٤٠	٢٤٨	٤٥	٣٩	٢٤٨
ا	٢٠	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠	٠٠

س = ٥٥″ ٥٩′ ٥٣° ‏ ‏ ‏ ‏ ‏ ى$_1$ = ١٢,٥″ ٣٠′ ١٢٢°

ى$_2$ = ٣٢,٥″ ٠٩′ ١٢٦°

وبتطبيق العلاقة

$$\frac{\text{ا ب}}{\text{جا}\,(\text{ى}_1 + \text{ا})} = \frac{\text{هـ}_1}{\text{جا ا}}$$

والعلاقة

$$\frac{\text{حـ ب}}{\text{جا}\,(\text{ى}_2 + \text{حـ})} = \frac{\text{هـ}_1}{\text{جا حـ}}$$

$$\text{ا ب} = \frac{\text{هـ}_1\ \text{جا}\,(\text{ى}_1 + \text{ا})}{\text{جا ا}} = \text{ظتا}\ \frac{\text{س}}{٢}\ .\ \frac{\text{جا}\,(\text{ى}_1 + \text{ا})}{\text{جا ا}}$$

$$= \frac{٢٨,٦٤ \times ٠,٨٤٣٣}{٠,٠٦٣} = ٢٨٣,٣٧\ \text{متر}$$

وبالمثل تحسب المسافة حـ ب .

الباب الخامس عشر
طرق وأجهزة الصور المزدوجة

تنقسم أجهزة وطرق الصور المزدوجة إلى مجموعتين :

المجموعة الأولى : وتتبع هذه الأجهزة المجموعة الأولى من التقسيم العام للمساحة التاكيومترية حيث أنها طرق وأجهزة تتواجد فيها القاعدة عند موضع الهدف وأهم أجهزة هذه المجموعة هى :

١ ــ جهاز منشور المسافة .

٢ ــ جهاز التاكيومتر المختزل والمنشور (Redta) .

٣ ــ جهاز التاكيومتر RDH .

وطريقةمنشور المسافة هى إحدى طرق التاكيومترية بأستعمال القاعدة الأفقية وتختلف هذه الطريقة عن قضيب الأنفار فى ثبوت زاوية البرالاكس ، وتحدد المسافة المقاسة على قامة أفقية موضوعة عند أحد طرفى الخط المراد قياسه .

١ ــ منشور المسافة
(Dlstance Wedge Method)

ومنشور المسافة عبارة عن تركيبة يمكن وضعها أمام العدسة الشيئية فى جهاز التيودوليت أو التاكيومتر الذى يوجه نحو قامة أفقية خاصة لحساب المسافة مباشرة بين الجهاز والقامة . وبقياس زاوية الإرتفاع أو الإنخفاض يمكن تحديد المسافة الأفقية وفرق الأرتفاع .

تركيب المنشور :

يتركب منشور المسافة من منشورين زجاجين وغير ملتصقين وموضوعين

أمام العدسة الشيئية ولا يغطى الشيئية كلها شكل (١٣٩ ، ١٤٠) عند وضعه أمامها بل يحجب شريحة أفقية ضيقة فى الجزء الأوسط من الشيئية ولذلك يتكون على حامل الشعرات صورتان أحدهما منحرفة أفقياً وهى الصورة الداخلة إلى المنظار من خلال المنشور ثم الشيئية والأخرى وهى الداخلة إلى المنظار من خلال الشيئية مباشرة وزاوية الأشعة هى زاوية إنحراف أو إنكسار المنشور وقد صنع المنشور بزاوية إنحراف قدرها ″١٢,٦ ′٣٤ وظلها = $\frac{١}{١٠٠}$ وشكل (١٤١) يبين منشور المسافة وهو مركب على التيودوليت .

أما القامة المستعملة مع المنشور فهى قامة خاصة مدرجة وطولها متران تقريباً وتوضع عند الأستعمال فى وضع أفقى على حامل ثلاثى خاص بها شكل (١٤٢) .

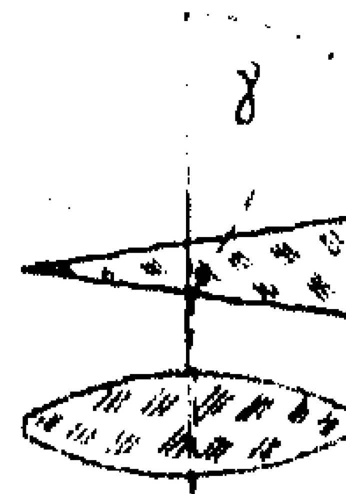
طريقة الأستعمال :

لقياس المسافات توضع القامة أفقية على حاملها وهى مجهزة عند أحد طرفيها بورنية شكل (١٤٢) بحيث ينطبق صفر الورنية على صفر مقياس القامة (توضع أحياناً ورنية أخرى يبعد صفرها عن صفر الورنية الأولى بمقدار ٥٠ سم كما فى شكل (١٤٢) أو أى مقدار آخر وهذا للتحقيق) . فإذا نظرنا خلال المنظار رأينا صورة الورنية متكونة من خلال المنشور تحت صورة جزء ما من القامة وكأن صورة الورنية قد أنتقلت من موضعها نتيجة لإنحراف خط النظر الموجه إليها وتأخذ موضعاً جديداً فوق مقياس القامة وتكون المسافة التى أنتقلتها هذه الورنية هى (هـ) الفرق المطلوب تعيينه شكل (١٣٩) ، ونعين مقداره بتعيين قراءة صفر الورنية على المقياس من خلال المنظار .

وحيث أن زاوية الأنحراف = ظا$^{-١}$ $\frac{١}{١٠٠}$

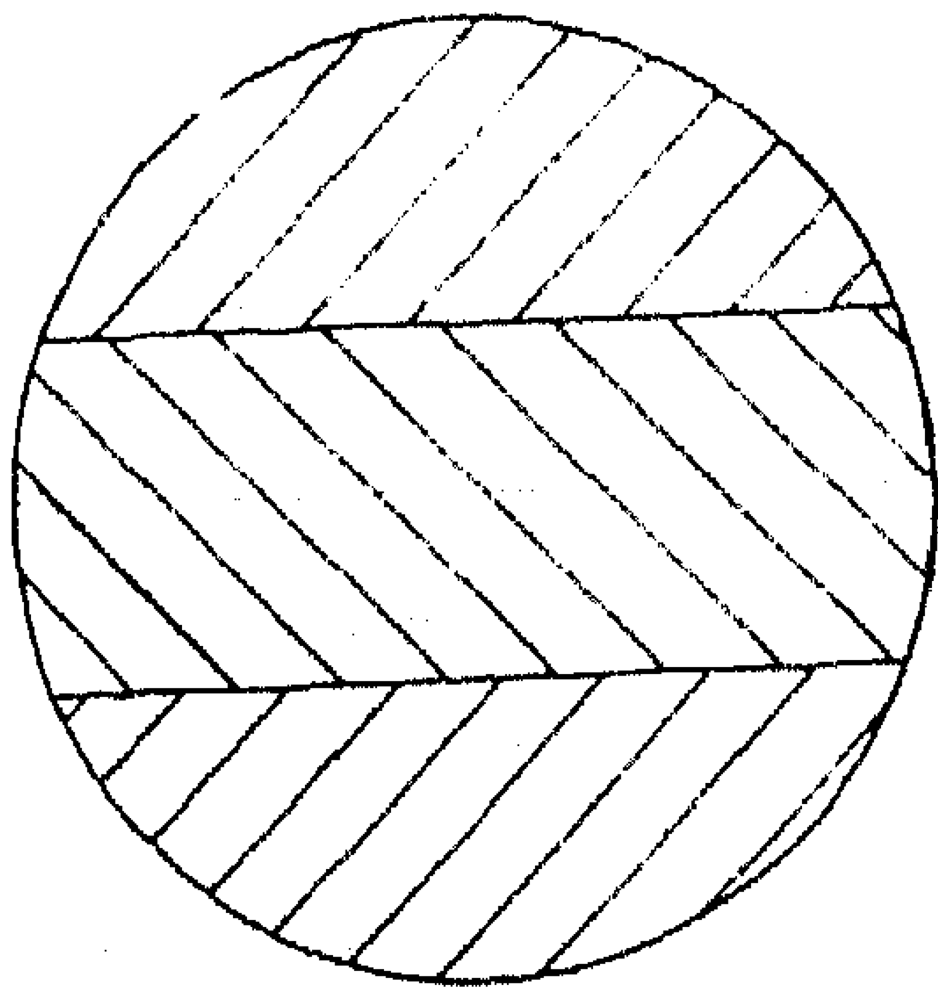
فإن ف = ١٠٠هـ = ١٠٠ × قراءة الورنية . وإذا كان خط النظر مائلاً فإن المسافة المقروءة تكون هى المسافة المائلة (م) .





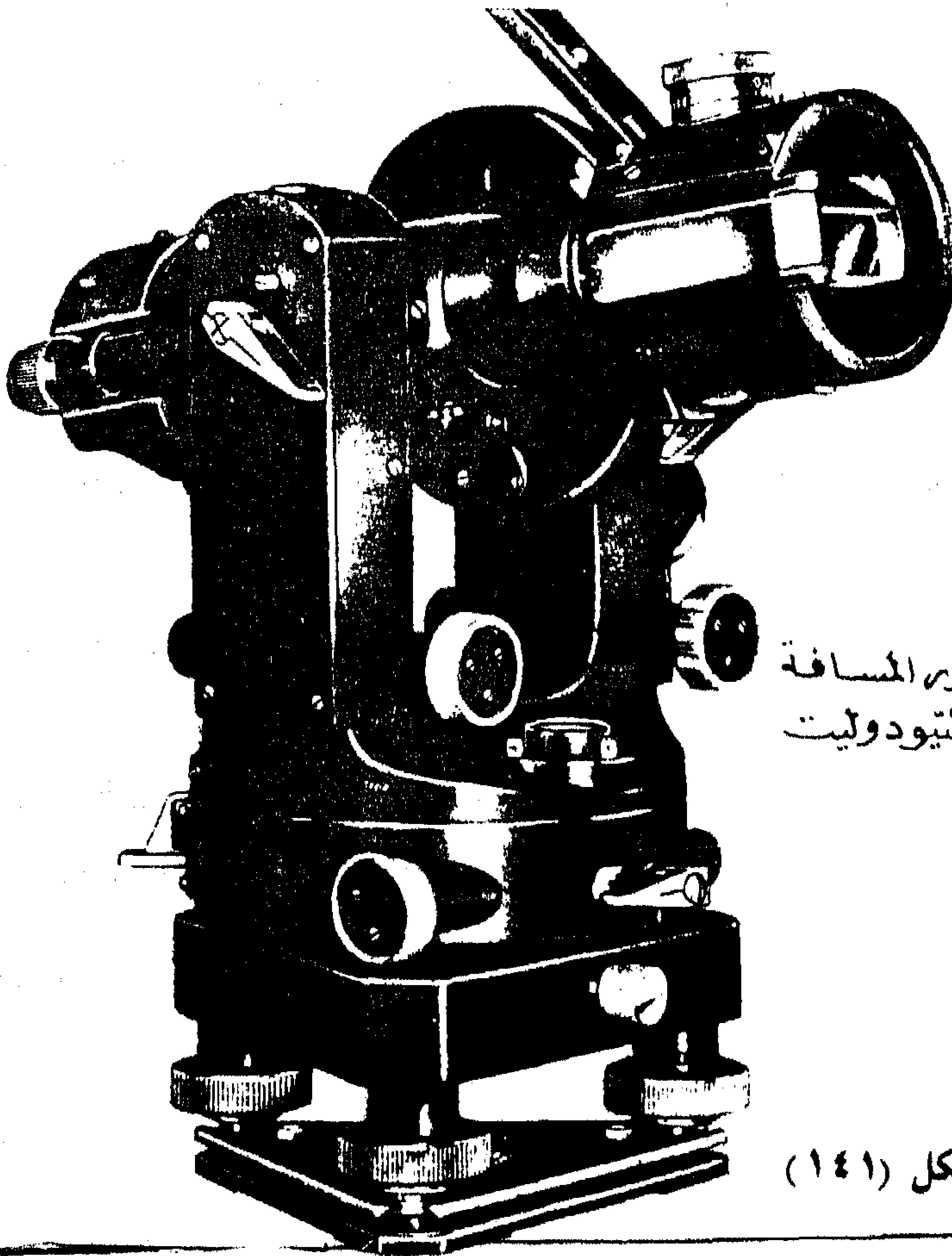
منشور المسافه

شكل (١٣٩)



المنشور أمام الشيئيه

شكل (١٤٠)



منشور المسافة
مع التيودوليت

شكل (١٤١)

ف = م جتاهـ = ١٠٠هـ جتاهـ	..... (٩٤)

ص = م جاهـ = ١٠٠هـ جاهـ	..... (٩٥)

حيث (هـ) زاوية الإرتفاع أو الإنخفاض .

ونقيس إرتفاع كل من الجهاز والقامة عن سطح الأرض .

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + إرتفاع الجهاز – إرتفاع القامة عن سطح الأرض ± ص

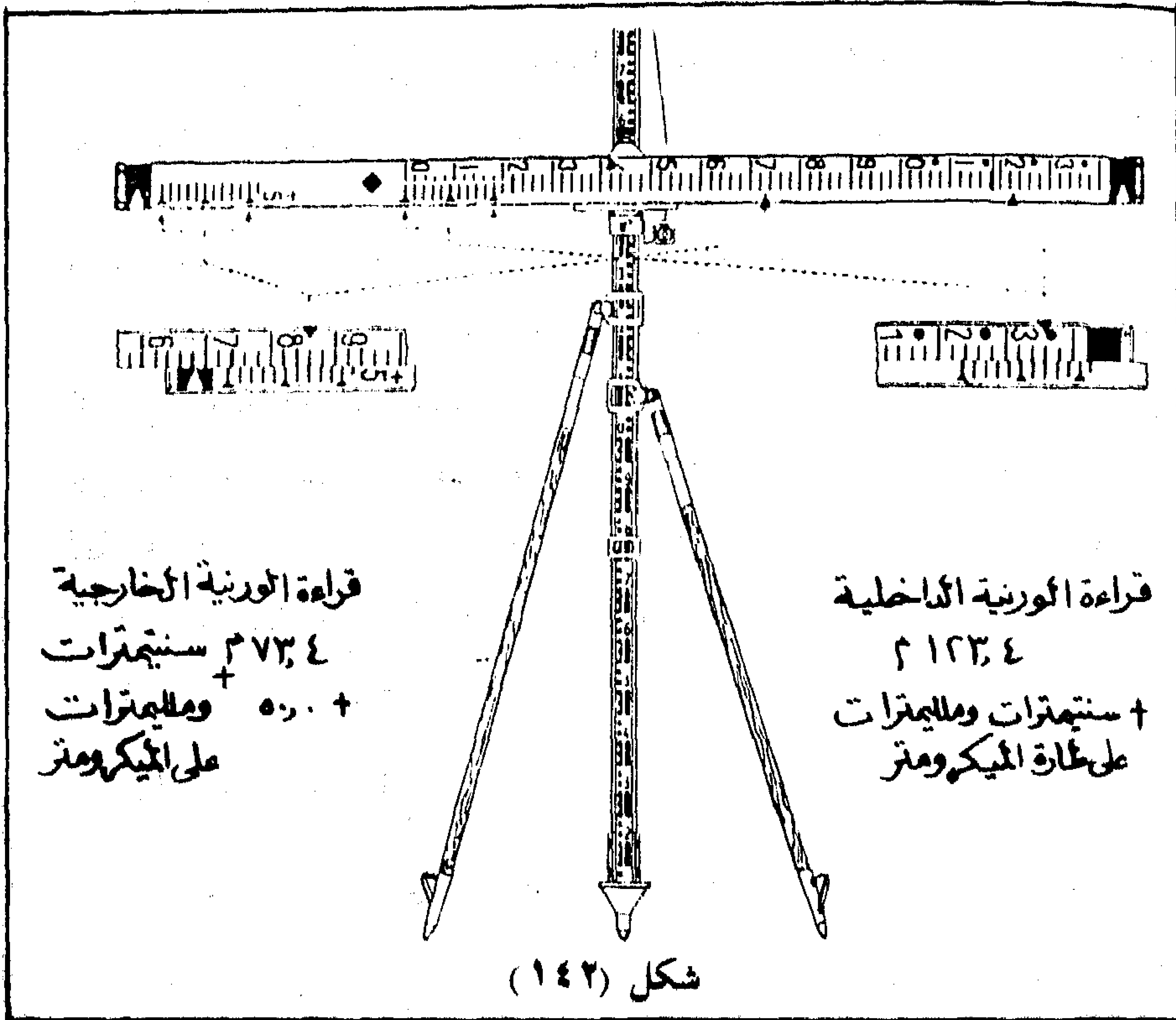
...... (٩٦)

ولزيادة الدقة صمم منشور متوازى السطحين يدور حول محور رأسى ثابت بحيث ينحرف خط النظر موازياً لنفسه تماماً على القامة عند دوران المنشور بواسطة ميكرومتر خاص وذلك لعمل الأنطباق بين الورنية والمقياس تماماً على القامة .

والدورة الكاملة للميكرومتر تساوى وحدة قراءة الورنية على القامة وعادة يقرأ المقياس ٢ سم والورنية ٢ ملليمتر والميكرومتر ٠,١ ملليمتر أى أن هذه القراءات بالنسبة للمسافات تكون على القامة = ٢ م وعلى الورنية = ٢٠ سم وعلى الميكرومتر ± ١ سم .

ميزات منشور المسافة :

١ ــ القراءة بالجهاز دقيقة لأستعمال ورنية على القامة والميكرومتر الملحق .



شكل (١٤٢)

٢ ــ لا يوجد تصحيح بضرب الجزء المقطوع من القامة فى (جتا٢هـ) كما فى شعرات الأستاديا وذلك لأن القامة أفقية كما لا يوجد ثابت إضافى فى معادلات المسافة .

٣ ــ لا تتأثر بالإنكسار الجوى الرأسى .

٢ ــ التاكيومتر المختزل ذو المنشور ــ (الردتا)

(Reducing Tacheometer with distance Measuring Wedge)

نظرية الجهاز :

يعتبر هذا الجهاز حصيلة تعديل وتحسين فى طريقة منشور المسافة حيث أدخلت تعديلات على جهاز منشور المسافة ، الغرض منها هو الحصول على المسافات الأفقية مباشرة سواء أكان خط النظر أفقياً أو مائلاً . وقد تم هذا

التعديل بإستبدال المنشور الثلاثى بمنشورين متماثلين يقومان بنفس عمل المنشور الواحد فى الوضع الأفقى ، أى ينحرف خط النظر خلالهما بما يعادل زاوية ظلها يساوى $\frac{١}{١٠٠}$ ، ويدور كل من المنشورين فى مستواه فى إتجاه مضاد للآخر بنفس المقدار ولذا فإنه عند استعمال الجهاز فى حالة ميل المنظار نجد أن دوران المنشورين معاً فى أتجاهين متضادين يعادل وجود منشور واحد بزاوية أقل من الزاوية الأصلية للمنشورين ويتوقف التغير فى مجموع زاويتى المنشورين على قيمة زاوية الميل فى خط النظر . فإذا كانت (هـ) هى زاوية ميل خط النظر فنجد أن قيمة إنحراف خط النظر خلال المنشورين معاً تقل بما يعادل (جتاهـ) وبذا تكون المسافة المقروءة على القامة مباشرة هى المسافة الأفقية ومساوية (١٠٠هـ جتاهـ) .

ويكون فرق الأرتفاع ص = ف ظاهـ .

ونجد أيضاً فى هذا الجهاز أن منشور المسافة يعتبر جزءاً من الجهاز نفسه .

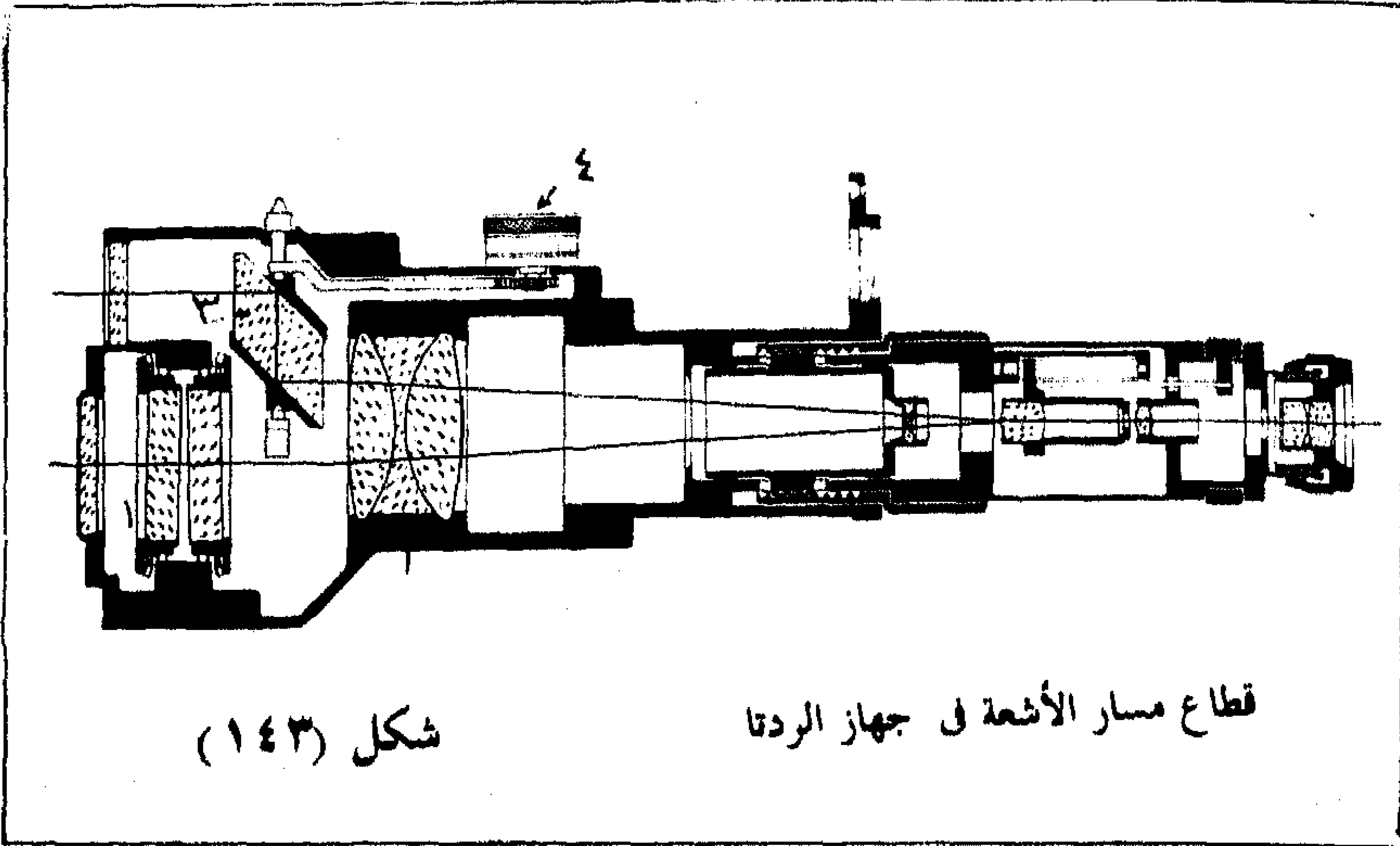
وهناك عدة أنواع من الأجهزة تستخدم هذه النظرية وأشهرها هو جهاز ردتا (Redta 002) صناعة زايس وهو جهاز كامل به جميع الأحتياجات التى تتطلبها عملية القياس التاكيومترى وقد صمم هذا الجهاز بحيث يقوم بعمل جهاز التيودوليت .

شكل (١٤٣) يبين قطاع فى جهاز Redta 002

ولتعيين فرق الأرتفاع بواسطة جهاز الردتا فنجد أنه يعطينا بالأضافة للزاوية الرأسية (هـ) قراءة ظل هذه الزاوية مباشرة من منظار القراءة الجانبى الملاصق للمنظار الرئيسى ومنها نحصل على الفرق الرأسى المطلوب ص .

ص = ف ظاهـ

وجهاز الردتا مزود أيضاً بمنشور متوازى السطحين ٣ (لوح التوازى) كما فى منشور المسافة يدور رأسياً بحيث ينحرف خط النظر موازياً لنفسه تماماً على



قطاع مسار الأشعة فى جهاز الردتا

شكل (١٤٣)

القامة عند دوران المنشور ــ ويدور هذا المنشور بواسطة ميكرومتر ٤ ، والغرض الأساسى منه هو تطبيق قراءات الورنية تماماً على القامة . وقامة الردتا هى نفس القامة الأفقية المستخدمة فى جهاز منشور المسافة .

طريقة القياس :

١ ــ توجه القامة عمودية على خط النظر الواصل من الجهاز إليها بواسطة منظار صغير به مثلث ضوئى حتى ينطبق رأس المثلث على خيط الشاغول بالجهاز ، وعلى ذلك فإنه عند رصد الجهاز بهذا المنظار الصغير تصبح هذه عمودية على إتجاه خط النظر ويجب على الراصد التحقق من ضبط القامة قبل أخذ القراءات عليها ــ بأن يرى القامة موازية للشعرة الأفقية فى المنظار ــ ونلاحظ أن هذه الخطوة هى نفس ما أتبع عند ضبط قضيب الأنفار .

٢ ــ نضبط الجهاز أفقياً عند الطرف الآخر للخط ونوجه المنظار إلى علامة ضوئية بيضاء فى سطح القامة ونرى هذه العلامة (من خلال المنظار) رأسية لو كانت القامة متعامدة على خط النظر أو على شكل قوس منحنى لو لم تكن كذلك .

٣ ـ ندير طارة خاصة فتجعل المنشور أمام الشيئية وتنقل صورة الورنية أو الورنيتين مسافة قدرها (ﻫ) . وتقرأ المسافة ف كالتالى :

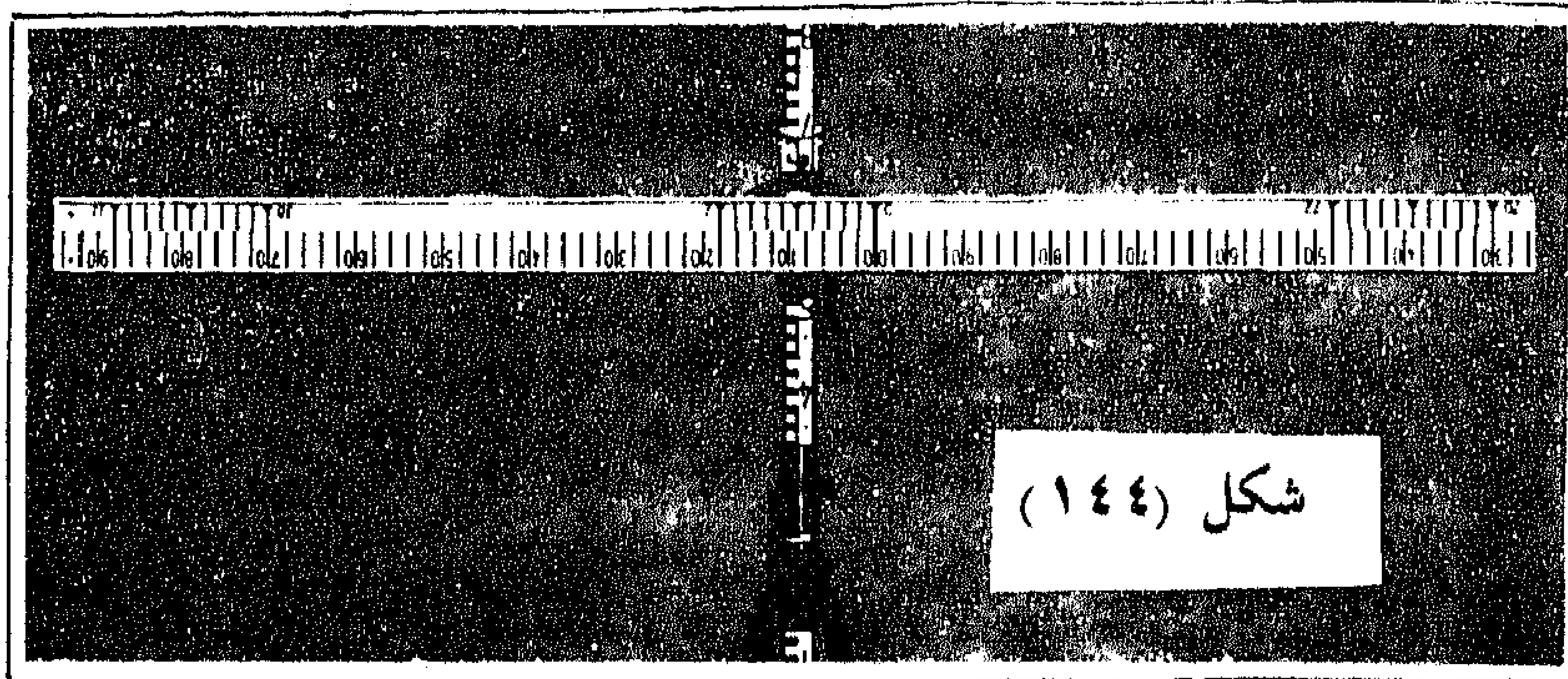
القامة مقسمة إلى ديسيمترات ، ٢ سم ، وطول مقياس القامة يساوى ١٢٠ سنتيمتر ، ويوجد تحت هذا المقياس ورنيتان تقرأ كل منها ٢ ملليمتر وتوضع إحدى الورنيتين بحيث ينطبق الصفر فيها على صفر المقياس ، بينما توضع الورنية الأخرى قبل صفر المقياس بمقدار ٥٠ سنتيمتر تماماً . والغرض من ذلك أنه فى المسافات القصيرة حتى طول ١٢٠ متراً ، نجد أن صورة الورنية الأولى تظهر تحت المقياس ، بينما إذا زادت المسافة عن ذلك فإن صورة هذه الورنية تخرج عن حدود القامة . وفى هذه الحالة نأخذ قراءة القامة على الورنية الأخرى ثم نضيف إلى هذه القراءة فرق المسافة بين صفر المقياس وصفر الورنية وقدره خمسون سنتيمتر ، أى أننا فى هذه الحالة يمكننا تقدير الأبعاد إلى مسافة ١٧٠ متر تقريباً من الجهاز ، ولكى يتم أنطباق صفر إحدى الورنيتين على قسم من أقسام المقياس فإننا نستعمل مسمار الميكرومتر الموجود فوق المنظار . وهذا الميكرومتر يلف اللوح المتوازى السطحين فينتقل خط النظر موازياً لنفسه نتيجة للأنكسار حتى يتم الأنطباق تماماً بين قسم المقياس وقسم الورنية القريب منه ، ومقدار هذا الأنتقال نقرأه على مسمار الميكرومتر ، ويضاف إلى القراءة الكلية على المقياس والورنية .

هذا ويمكن إتباع أوضاع القياس المذكورة فى حالة قضيب الأنفار عند قياس المسافات الكبيرة باستعمال جهاز الردتا .

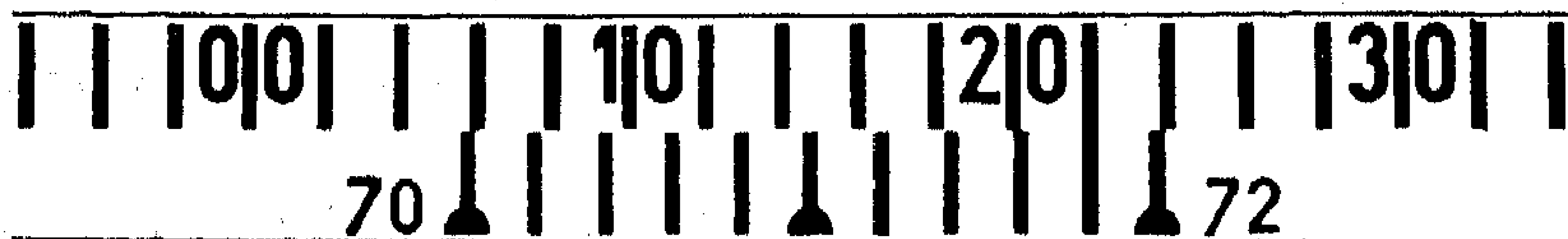
٣ ــ جهاز R D H

وهو أيضاً على نفس نظرية الردتا وهو صناعة فيلد ويستعمل قامة أفقية شكل (١٤٤) كما أن شكل (١٤٥ ، ١٤٦) يبين مثالين لقراءة القامة .

المجموعة الثانية : وتتبع هذه الأجهزة المجموعة الثانية من التقسيم العام للمساحة التاكيومترية حيث أنها طرق وأجهزة تتواجد فيها القاعدة عند موضع

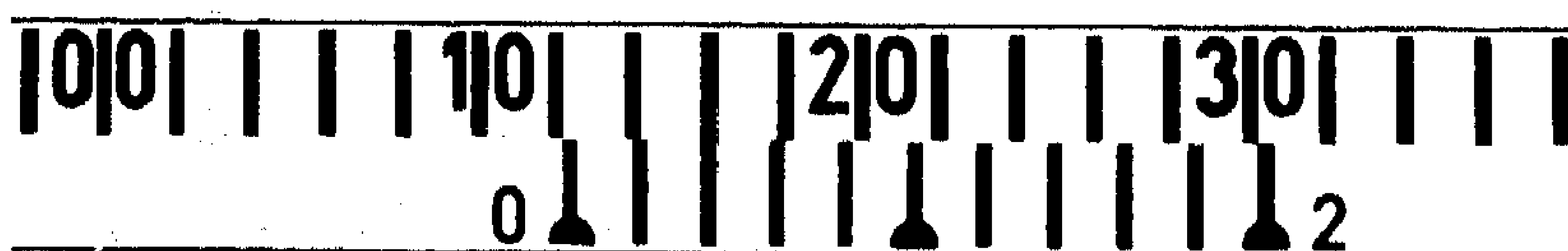


شكل (١٤٤)



Read :	Main graduation	74.00
	Vernier	1.80
	Micrometer (not shown)	.16
	Horizontal distance	75.96

شكل (١٤٥)



Main graduation,	one interval	2 m	f ex.	12.00
Vernier,	one interval	2 dm		.40
Micrometer (not shown),	one interval	1 cm		.06
Horizontal distance				12.46

شكل (١٤٦)

الراصد وتكون هذه القاعدة جزءاً من جهاز التاكيومتر المستخدم وبهذا يستغنى عن وضع قامة عند الهدف وهذه ميزة كبرى خاصة فى الأراضى الوعرة والصعبة الوصول إليها لوضع قامة فى النقط بها . وأهم أجهزة هذه المجموعة هى :

١ ــ جهاز التليتوب (جهاز القياس الطبوغرافى) (Teletop) .

٢ ــ جهاز القاعدة المختزل (BRT) .

ويلاحظ أن نتائج القياسات بهذه الأجهزة غير دقيقة ولذا فهى تستخدم فى الأعمال التى تكون الدقة العالية غير مطلوبة فيها كما فى حالة المساحة الطبوغرافية والتفاصيل الجيولوجية والغابات ، وفى الأغراض العسكرية وأغراض الأستكشاف .

١ ــ جهاز التليتوب (جهاز القياس الطبوغرافى) :

وفيه زاوية البرالاكس ثابتة وتتغير طول القاعدة حسب المسافة المقاسة ويستعمل لإيجاد المسافات الأفقية والأرتفاعات .

ويتركب الجهاز شكل (١٤٧) من ذراع (١) مقسم إلى ٣٠٠ ملليمتر يتحرك عليه غلاف بداخله منشور زجاجى (٢) وفى طرف الذراع تركيبه عبارة عن منظار صغير (٣) ومنشور زجاجى آخر (٤) ظل زاويته ثابتة والجهاز مزود بدائرة رأسية مدرجة لتعيين زاوية ميل خط النظر وكذلك بوصلة منشورية لقياس إنحرافات الخطوط .

نظرية الجهاز :

يتحرك على الذراع الغلاف ذو المنشور الزجاجى ، الزاوية بين سطحيه العاكسين تساوى ٤٥° تماماً ، وعلى ذلك فإن الشعاع الضوئى المار به ينحرف عن خط سيره الأول بمقدار ٩٠° وبذا فإن الأشعة الضوئية التى تكون عمودية على هذا الذراع ، وتسير فى داخل هذا المنشور ، وتخرج منه فى إتجاه يوازى

الذراع نفسه ثم يتجه إلى منشور ثلاثى آخر مثبت عند المنظار فتغير خط سيرها مرة أخرى بزاوية قدرها ٩٠° وتتجه إلى عين الرصد من داخل المنظار . كما يوجد بداخل المنظار منشور آخر فى مستوى أعلى من المنشور الأول أى أن السطح العلوى للمنشور الأول يكون فى مستوى السطح السفلى للمنشور الثانى تماماً . وهذا المنشور (٤) يحرف خط النظر المار به بزاوية صغيرة ظلها $\frac{١}{١٠٠}$ ويمكن إستخدام مناشير أخرى ذات زوايا ظلها أى مقدار آخر ثابت .

وعند رصد هدف ما بالمنظار فتظهر له صورتان فوق بعضهما شكل (١٤٧) أحدهما المباشرة عمودياً على الذراع والثانية المنعكسة عن طريق المنشور (٤) . وعندما تنطبق الصورتان تماماً شكل (١٤٨) فمعنى ذلك أن الشعاع الصادر عن المنشور المنزلق يقابل الشعاع الآخر المار بالمنشور (٤) عند الهدف تماماً وبذلك يتكون المثلث الفراغى شكل (١٤٩) الذى رأسه عند الهدف وقاعدته عند الجهاز وإحدى زواياه قائمة وزاوية رأسه هى زاوية إنحراف المنشور الثابت (٤) المثبت عند المنظار . وعليه تكون المسافة المطلوب تعيينها تساوى القاعدة $م_{١}$ × ظل زاوية المنشور المستخدم وتدرج القاعدة $م_{١}$ حسب زاوية المنشور لتعطى المسافة مباشرة .

استعمال الجهاز :

١ ــ نضع شاخصاً عند النقطة المطلوب إيجاد بعدها ومنسوبها . وإذا كانت هذه النقطة هدفاً ثابتاً مثل مبنى أو شجرة مثلاً فيرصد على الهدف مباشرة .

٢ ــ نضع الجهاز على الحامل الثلاثى الخاص به عند الطرف الآخر للخط ونسامته ونعده للرصد .

٣ ــ نرصد الهدف بالمنظار فيظهر له صورتان فوق بعضهما ، ثم نحرك المنشور المنزلق فوق ذراع الجهاز حتى نحصل على الوضع الذى تظهر فيه

الصورتان متكاملتان تماماً فى الوضع الرأسى ويكون هذا هو الوضع الصحيح للرصد كما فى شكل (١٤٨) ونقرأ المسافة (م) من على الذراع مباشرة .

هذا ويستعمل مع الجهاز مناشير تتراوح ظلالها من $\frac{١}{١٠٠}$ إلى $\frac{١}{١٠٠٠}$

والجدول (٢١) يبين قيم ثوابت المنشور المستخدمة ومدى القياس المناسب لاستعمال كل منها علاوة على النسبة المئوية لخطأ القياس .

جدول ٢١

ظل زاوية المنشور	مدى القياس لاستعماله	النسبة المئوية للخطأ فى القياس
١/ ١٠٠	٢ — ٣٠ متراً	٠,٢
١/ ٢٥٠	٤ — ٧٥ متراً	٠,٣
١/ ٥٠٠	٨ — ١٥٠ متراً	٠,٥
١/ ١٠٠٠	١٥ — ٢٠٠ متراً	١,٠
١/ ٢٠٠٠	٣٠ — ٦٠٠ متراً	٢,٥ — ٣,٠

ولتعيين المسافات الأفقية للخطوط المقاسة يجب قياس زوايا الارتفاع وبذا تكون :

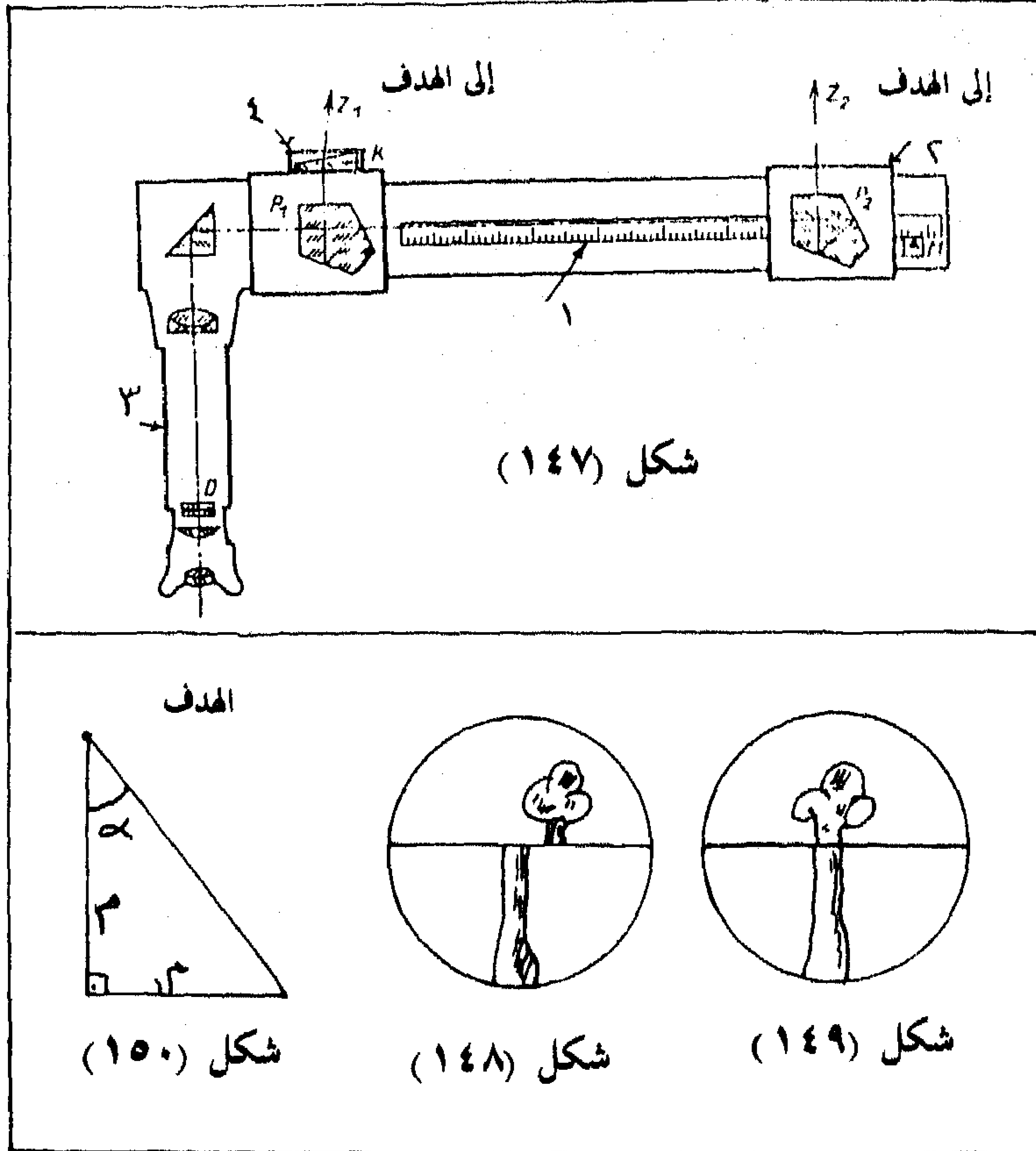
ف = م جتاهـ ، ص = م جاهـ .

حيث م = المسافة المائلة المقاسة مباشرة من الجهاز .

هـ = زاوية الارتفاع والتى تقاس بالدائرة الرأسية بالجهاز .

وهناك جدول خاص مرفق بالجهاز للمقادير التى تطرح من المسافة المائلة للحصول على المسافة الأفقية مباشرة .

ويمكن استعمال هذا الجهاز فى قياس الارتفاعات الرأسية مباشرة من الطبيعة إذا كانت هذه الارتفاعات فوق الراصد ، مثل الترخيم فى أسلاك التليفون والخطوط الكهربائية أو الأسقف والجمالونات أو ما شابه ذلك ، نفك الجهاز من قاعدته ونثبت به مقبضاً خاصاً ثم نرصد به الهدف المطلوب ونقيس إرتفاعه فوق الراصد .

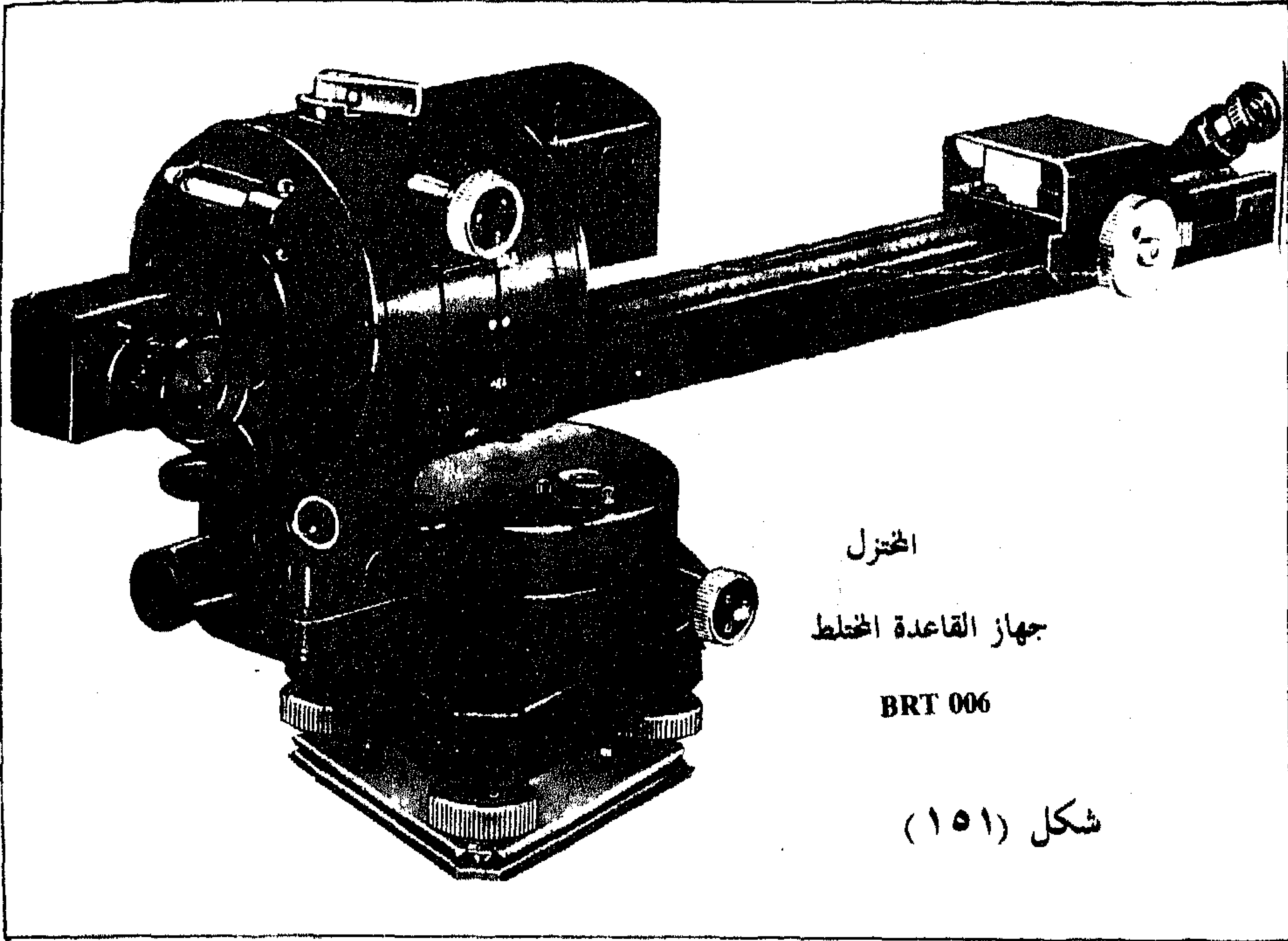


شكل (١٤٧)

شكل (١٥٠) شكل (١٤٨) شكل (١٤٩)

٢ ــ جهاز القاعدة المختزل (Base Reducing Tacheometer)

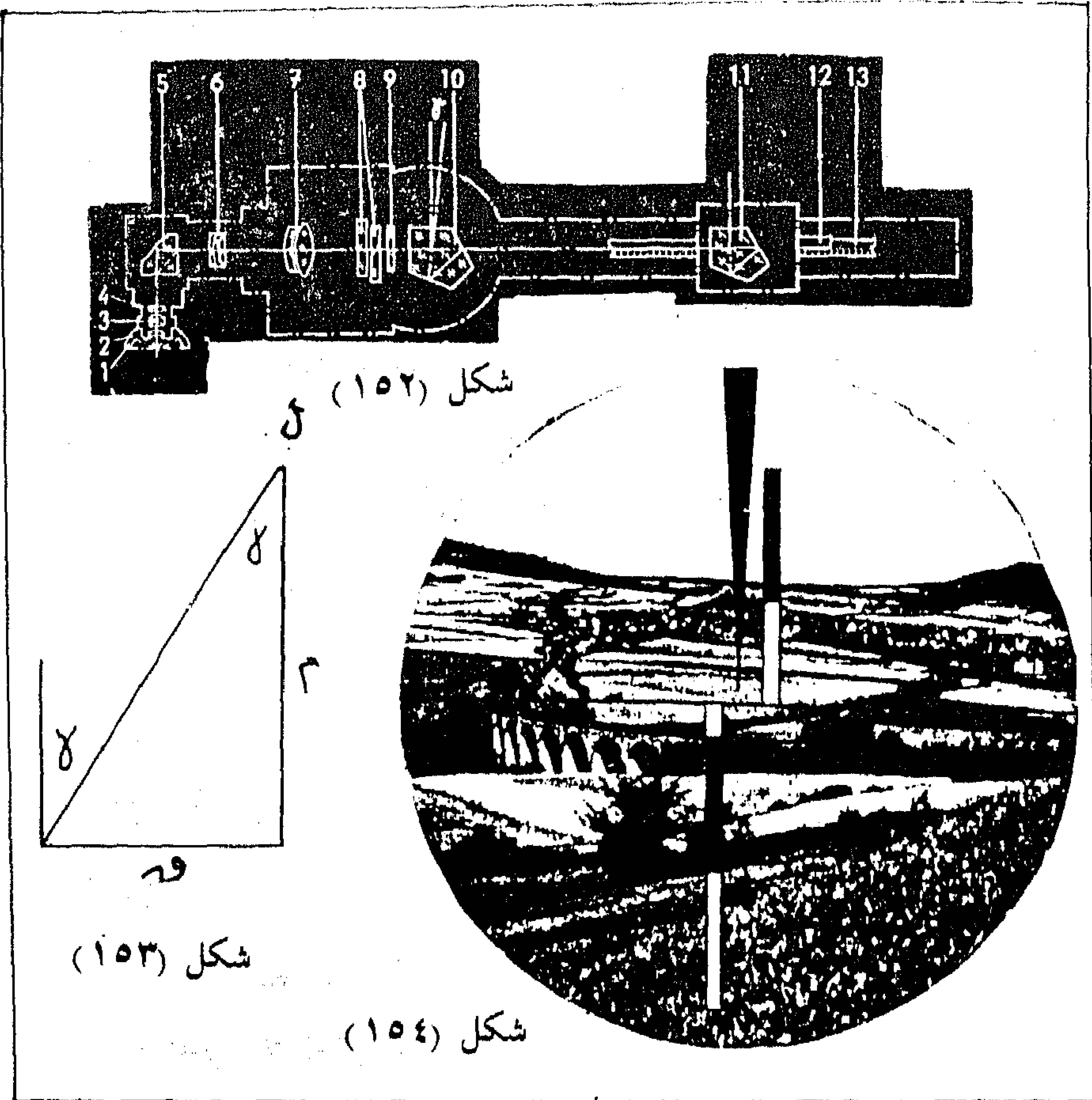
الأسم الاصطلاحى لهذا الجهاز هو (BRT 006) ، وهو قريب الشبه من جهاز التليتوب ويعتبر تعديلاً وتحسيناً له شكل (١٥١) . وبهذا الجهاز يمكن تعيين المساقط الأفقية للمسافات المائلة مباشرة بدون الحاجة إلى الحساب وهو



شكل (١٥١)

يعطى نتائج دقيقة كما أنه يقيس المسافات فى حدود ٣ إلى ٦٠ مترا فقط ، لذلك لا يستعمل فى الأعمال الطبوغرافية والأفضل استعماله فى قياس أطوال المضلعات وخاصة إذا تعذر القياس بالطرق العادية ، ويمكن زيادة طول المدى إلى ٢٤٠ مترا بوضع قامة أفقية عند طرف الخط .

والثابت التاكيومترى للمنشور العاكس بهذا الجهاز يساوى ٢٠٠ بالنسبة إلى وحدات الجهاز ، وهى وحدات خاصة به مرقومة على ذراع الجهاز (١٣) شكل (١٥٢) وطوله ٣٠٠ ملليمتر ومقسمة إلى نصف ملليمترات ويمكن تقدير ٠,٠٥ من الملليمتر بسهولة . بذا يمكن القياس بدقة إلى الديسيمترات وبالتقدير إلى السنتيمتر . ويمكن تحريك المنشور الثلاثى على ذراع الجهاز إما بالحركة السريعة أو الحركة البطيئة حسب الرغبة فى ذلك بواسطة مسمار خاص وبذا يمكن الرصد على الأهداف بكل دقة .



شكل (١٥٢)

شكل (١٥٣)

شكل (١٥٤)

ويمكن بواسطة هذا الجهاز أيضاً قياس المسافات المائلة مباشرة من الطبيعة عند الحاجة إلى ذلك — حيث أنه يوجد بالجهاز مسمار لتحويل القياس من المسافة الأفقية إلى المسافة المائلة أو بالعكس . والنظرية التى على أساسها يقوم هذا الجهاز بتحويل المسافات المائلة إلى مساقطها الأفقية ، هى استعمال المنشورين المتوازيين السابق ذكرهما فى جهاز القياس التاكيومترى (ردتا) .

والجهاز به دائرة أفقية لقياس زوايا الارتفاع والانخفاض . كما يمكن أخذ مقادير الظلال منه مباشرة لتعيين الفرق الرأسى فى المنسوب .

شكل (١٥٢) يبين النظرية التى بنى عليها عمل الجهاز ومجموعة

المنشورات والعدسات التى يتركب منها الجهاز وتقوم بالعمل داخل الجهاز ، وفيه نجد منشور خماسى منزلق (١١) وهو إلى اليمين فى الشكل وموضوع أمام الجزء السفلى من عدسة الشيئية (٧) ومنشور خماسى ثابت (١٠) أمام الجزء العلوى من الشيئية . والمنشور (١١) يحرف الشعاع الضوئى الواصل من الهدف (ل) بزاوية قدرها ٩٠° فيسير الشعاع الضوئى فى اتجاه الذراع ناحية المنظار ، بينما المنشور (١٠) يحرف الشعاع الضوئى بزاوية قدرها (٩٠° ـــ γ) وبذا يتكون مثلث فراغى قائم زاوية رأسه ثابتة تساوى (γ) وقاعدته (ق) متغيرة شكل (١٥٣) ومنه يمكن إيجاد المسافة المائلة (م) .

$$م = ق \ ظتا\gamma = ث \cdot ق \ ...... \ حيث \ ظا\gamma = \frac{١}{٢٠٠}$$

يحرك المنشور (١١) حتى تنطبق الصورة العليا للهدف مع الصورة السفلى وشكل (١٥٤) يبين الصورتين قبل الانطباق .

دقة الجهاز :

١ ـــ متوسط دقة الجهاز ٠,٠٦٪ من المسافة فى الحدود بين صفر ، ٦٠ متراً وأقصى دقة يمكن أن نصل إليها ٠,٠٣٪ .

٢ ـــ يتوقف الحصول على هذه الدقة تحقيق الجهاز على فترات كل منها أسبوعاً واحداً ويجرى التحقيق بقياس مسافة معلومة ثم ضبط منشور الجهاز .

٣ ـــ الألتواء أو التقوس البسيط الذى يمكن أن يحدث بالذراع نتيجة لتعرضه للحرارة مثلاً له تأثير كبير على دقة قياس المسافات ولذا يجب حماية الجهاز ضد حرارة الشمس أو استعماله فى الظل .

٤ ـــ أحسن النتائج التى نحصل عليها فى المسافات بين ٢٠ ، ٤٠ متراً .

الباب السادس عشر
رفع منطقة بالتاكيومتر

طريقة العمل :

١ ـــ نختار مضلع للمنطقة مثل ا ب حـ ء هـ شكل (١٥٥) ونضع الجهاز فوق إحدى النقط وليكن (ا) .

٢ ـــ يحدد إرتفاع الجهاز من محور المنظار الأفقى إلى نقطة ا .

٣ ـــ نضع القامة على نقطة معلومة المنسوب ونستنتج منسوب (ا) بالحساب من نظرة أفقية أو مائلة وننقل القامة إلى النقط التى تتغير فيها طبيعة الأرض مثل ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ وتؤخذ عند كل نقطة قراءات الشعرات الثلاث على القامة وانحراف الإتجاه إلى النقطة بالنسبة إلى أحد أضلاع المضلع أو الإنحراف الدائرى إذا كان الجهاز مزوداً ببوصلة (فى حالة إستعمال طريقة الاستاديا) . نقيس أضلاع المضلع ونعين مناسيب النقط المجاورة فى المضلع .

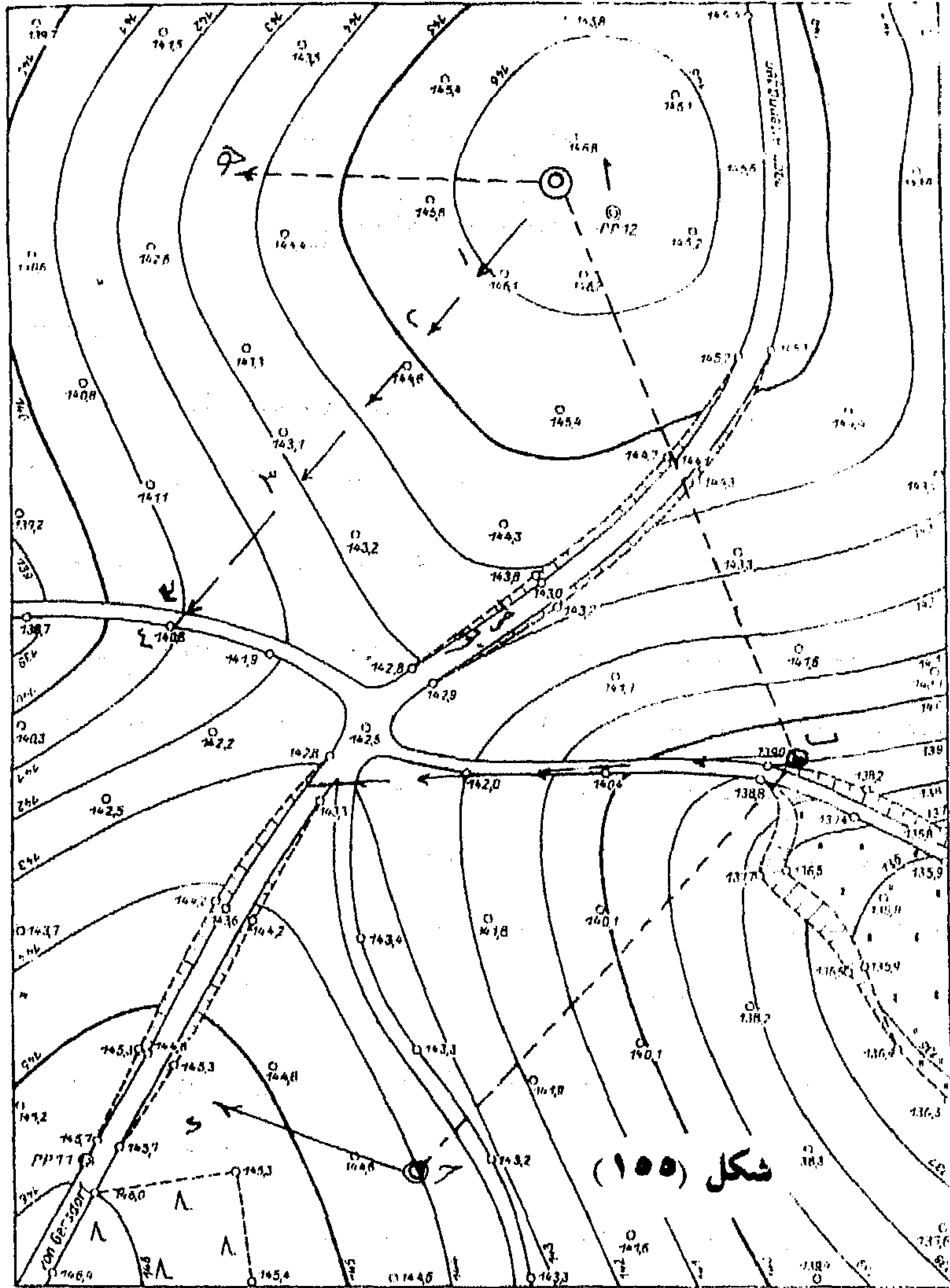
٤ ـــ ننقل الجهاز إلى (ب) ونكرر ما سبق ، وهكذا نقطة بعد أخرى حتى نهاية نقط المضلع .

٥ ـــ يجب تحقيق مناسيب نقط الترافرس الأصلى بالميزان إن أمكن .

٦ ـــ يعمل كروكى للأتجاهات والنقط حتى لا تتداخل الأرصاد عند توقيعها فى المكتب بعد ذلك .

أحتياطات هامة فى العمل :

١ ـــ إذا كانت أطوال أضلاع الترافرس تعين تاكيومترياً فيجب أن يجرى ذلك مرتين بين طرفى المضلع وغالباً ما تجرى باستعمال قضيب الأنفار أو الردتا للحصول على دقة عالية .



شكل (١٥٥)

٢ ـــ يجب التأكد من رأسية القامة (فى حالة شعرات الأستاديا) ويستحسن تثبيت ميزان تسوية دائرى خلف القامة لهذا الغرض .

٣ ـــ يجب بقدر الإمكان عدم أخذ قراءة الشعرة السفلى إذا كانت قريبة جداً من الأرض بسبب الإنكسار الجوى فى هذه المنطقة .

٤ — عند رفع مناطق شاسعة يحسن إستخدام التاكيومترات المزودة بمنحنيات استاديا لسرعة وسهولة الاستعمال .

٥ — فى حالة قياس زوايا رأسية يحسن جعل القرص الرأسي يقرأ إلى أقرب دقيقة صحيحة لسهولة إستخراج النسب المثلثية .

٦ — فى حالة إستحالة قراءة الشعرة العليا لوجود عائق مثلاً أو لبعد المسافة تؤخذ قراءتا الشعرتين السفلى والوسطى ويستنتج منها قراءة الشعرة العليا .

٧ — فى المقاييس الكبيرة يستحسن إستعمال الطرق التاكيومترية فى التفاصيل فقط أما فى المقاييس الصغيرة فيمكن إستعمالها كلية للمضلع والتفاصيل .

٨ — يجب تحقيق المناسيب بالربط على روبيرات أو نقط معلوم منسوبها كلما تيسر ذلك .

عمل المكتب :

١ — تحسب المسافات والمناسيب فى دفتر الغيط وطرق تدوين الأرصاد كثيرة مبين إحداها فى الجدول (٢٢) .

٢ — نعين نقط الترافرس على اللوحة إما بالمنقلة والقياس أو بإستخدام جهاز توقيع الأحداثيات القطبى أو حسابياً .

٣ — نرسم من كل نقطة من المضلع أشعة فى الاتجاهات المرصودة ، ونوقع عليها مسافات النقط التى أوجدنا مناسيبها بالأستعانة بالكروكي المرسوم وبذا يمكن الحصول على خريطة بها التفاصيل وعمل خطوط الكونتور من واقع المناسيب إذا أردنا ويمكن إستعمال جهاز كارتى (Karti) بنجاح تام وهو جهاز شبيه بالبلانشيطة فى عمله ويستخدم دائماً مع تاكيومتر دالتا .

٤ — يمكن إستعمال البلانشيطة واليداد البلانشيطة كتاكيومتر وتوقيع المناسيب والتفاصيل مباشرة على الخريطة .

مثال على المساحة التاكيومترية

عملت المساحة التاكيومترية المبين أرصادها فى جدول (٢٢) بجهاز تاكيومتر به عدسة تحليلية وثابتة التاكيومترى ١٠٠ ومنسوب ا = ٣٣,٨٨ متراً .

مصادر الأخطاء فى المساحة التاكيومترية

فضلاً عن مصادر الأخطاء فى العمل بالتيودوليت فإن العمل فى المساحة التاكيومترية معرض لكثير من مصادر الأخطاء فى الميزانية وعلى العموم يمكن تقسيم مصادر الأخطاء فى إيجاد المسافات والأرتفاعات بطريقة شعرات الأستاديا إلى ثلاثة أنواع هى :

أولاً ــ أخطاء شخصية :

ا ــ الخطأ فى قراءة القامة ومن الأخطاء الشائعة قراءة الشعرة الوسطى بدلاً من إحدى شعرتى الأستاديا وبذا نحصل على نصف المسافة الصحيحة ويمكن تلافى الوقوع فى مثل هذا الخطأ بتقدير المسافة بالعين المجردة ، وكثير من الأجهزة يجهز دليلها بشعرات قطرية لهذا السبب .

ب ــ الخطأ فى قياس الزوايا الرأسية ويجب الاحتياط تماماً فى قياسها خاصة إذا كانت زاوية الميل كبيرة والمسافة طويلة .

وبدراسة معادلات طريقة الاستاديا نجد أن الخطأ فى قياس الزوايا الرأسية فى الأحوال العادية ليس بذى أثر هام على المسافة الأفقية المحسوبة فمثلاً خطأ مقداره دقيقة واحدة فى قياس زاوية رأسية قدرها ٥° يؤثر على دقة تعيين المسافة الأفقية بمقدار $\frac{١}{٢٠٠٠٠}$ بينما لو كانت الزاوية الرأسية ١٥° فإن التأثير يكون $\frac{١}{١٠٠٠}$.

جدول (٢٢)

(١) موقع الجهاز	(٢) إرتفاع محور الجهاز	(٣) موضع القامة	(٤) الأنحراف	(٥) الزاوية الرأسية (ن)	(٦) قراءة الشعرات	(٧) المسافة الأفقية ف = ١٠٠ هـ جتا² ن	(٨) المسافة الرأسية = ١٠٠ هـ $\frac{\text{جا ٢ ن}}{٢}$	(٩) منسوب موقع الجهاز	(١٠) منسوب المحور (٢) + (٩)	(١١) منسوب موضع القامة = (١٠) + (٨) − قراءة الشعرة الوسطى
	١,٤٧	أ١	١٧° ١٢	٢° ١٨ +	١,٧٦ ٢,٠٠ ٢,٢٤	٤٧,٩٢	١,٩٢ +	٢٢,١٨	٢٣,٦٥	٢٣,٥٧
		أ٢	١٧٤° ٤٨	٤° ١٦ −	٠,٧٨ ١,٩٦ ٢,١٤	١٣٥,٨٠	٢,٦٧ −	٢٢,١٨	٢٣,٦٥	١٩,٠٢
		أ٣	٦٥° ٣٠	١° ٣٤ +	٢,٠٣ ١,٣٢ ٠,٦١	١٤١,٨٦	٣,٨٨ +	٢٢,١٨	٢٣,٦٥	٢٦,٢١
ب	١,٦٧	حـ	١٠٨° ٥٠	٢° ٥٠ +	٢,٢٥ ١,٣٢ ٠,٣٩	١٨٥,٦٣	٩,١٧ +	٢٦,٢١	٢٧,٨٨	٣٥,٧٣
		ب١	١٠٨° ٥٠	٢° ٤٧ −	١,٧٦ ١,٠٤ ٠,٣٢	١٤٣,٧١	٦,٩٨ −	٢٦,٢١	٢٧,٨٨	١٩,٨٦
		ب٢	١٠٨° ٥٠	٣° ١٦ −	٢,٧٧ ١,٦٩ ٠,٦١	٢١٥,٣٥	١١,٦٦ −	٢٦,٢١	٢٧,٨٨	١٤,٥٣
		ب٣	١٣٦° ٣٠	٤° ٣٥ +	٢,٩٩ ١,٧٥ ٠,٥١	٢٤٦,٤١	١٩,٧٧ +	٢٦,٢١	٢٧,٨٨	٤٥,٩٠
حـ	...	...	...	...		...	...	...	...	...

وتأثير الخطأ فى قياس الزوايا الرأسية على قيمة فرق الارتفاعات هام نسبياً فمثلاً خطأ مقداره دقيقة واحدة فى أى زاوية رأسية فى التطبيق العادي يعطي خطأ مقداره ٤ سم تقريباً فى الارتفاع إذا كانت المسافة الأفقية ١٠٠ متر.

ج — الخطأ الناتج من عدم وضع القامة رأسية تماماً ويزداد تأثير هذا الخطأ بازدياد زاوية الميل.

ومن الشروط الواجب إتخاذها فى أعمال المساحة التاكيومترية أن تكون القامة رأسية تماماً إذ أن ميل القامة يسبب خطأ فى المسافة المرصودة ويزداد مقدار هذا الخطأ كلما زادت زاوية ميل خط النظر، فمثلاً إذا كان لدينا قامة طولها ٤ متر وكانت قمتها تبعد عن الوضع الرأسى ٥ سم إلى الناحية المضادة من الجهاز (أى ميل ٥٣′ ٢° عن الرأسى) وكانت المسافة = ١٠٠ متر والزاوية الرأسية ٥° فإن الخطأ الناتج = ١.٢ سم على القامة أى ١.٢ متر فى المسافة إما إذا كانت الزاوية الرأسية ١٥° فإن الخطأ فى الجزء المحصور على القامة = ٣.٣ سم أى ٣,٣ متر فى المسافة.

وفى بعض الأعمال التاكيومترية يجب جعل القامة رأسية بواسطة ميزان تسوية خاص إذا كانت زاوية ميل خط النظر كبيرة.

د — الخطأ فى استعمال الثابت التاكيومترى الصحيح فقد نستعمل الثابت ١٠٠ وهو فى الواقع ليس كذلك وهذا من أهم مصادر الخطأ فى المساحة التاكيومترية لأنه خطأ تراكمى ويمكن تلافيه بإيجاد الثابت الصحيح كما سبق فى هذا الباب.

ثانياً — أخطاء آلية :

معظمها ينصب على أخطاء التيودوليت مثل خطأ الصفر وعدم ضبط ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية وكذلك الخطأ فى تدريج القامة نتيجة تمددها أو انكماشها وهذا يمكن إهماله فى الأعمال العادية ، ولكن فى الأعمال الدقيقة يجب معايرة القامة وإجراء التصحيح اللازم فى القراءات.

ثالثاً ــ أخطاء طبيعية :

وأهمها الرياح وإختلاف تأثير الإنكسار الجوى على قراءتى شعرتى الاستاديا ولتلافى تأثير الإنكسار يجب ألا يمر خط النظر (المار بالشعرة السفلى) على مسافة تقل عن متر من سطح الأرض وهذا الأحتياط تزداد أهميته خاصة أثناء ساعات منتصف النهار . وأهمية هذا الخطأ ضئيلة فى الأعمال العادية التى تكون الدقة المطلوبة فيها $\frac{١}{١٠٠٠}$ أو أقل .

ونحصل على أحسن النتائج بالرصد فى الصباح الباكر بين السابعة والتاسعة أو مساء بين الرابعة والسابعة أو فى الجو الملبد بالغيوم ففى هذه الفترات يقل تغير الأنكسار إلى أقصى حد نتيجة لعدم اختلاف كثافة طبقات الهواء القريبة من الأرض عن بعضها البعض . وإذا أضطررنا للعمل أثناء منتصف النهار نأخذ قراءتى الشعرتين العليا والوسطى ونضرب الفرق فى ٢ .

الخطأ المسموح به :

١ ــ فى حالة الترافرس السريع الطويل فى منطقة وعرة ونظرات طويلة متعددة والزوايا مقروءة إلى دقائق ولكن بدون دقة كبيرة .

خطأ القفل المسموح به فى الأضلاع = ٥ متر لكل كيلو متر خطأ القفل فى المناسيب = ٦٠ سم لكل كيلو متر ٢ ــ كما فى الحالة (١) ولكن فى منطقة ممهدة أو الزوايا الرأسية صغيرة خطأ القفل فى المناسيب بالقدم = ٠,٥ $\sqrt{\text{المسافة بالميل}}$.

(٩٧) .....

مســائل

١ ــ تاكيومتر مزود بثلاث شعرات المسافة بين كل زوج منها = $\frac{١}{٤٠}$ من البوصة والبعد البؤرى للشيئية = ٩ بوصة ــ المسافة من الشيئية للمحور الرأسى = $٤ \frac{١}{٢}$ بوصة ــ وضعت قامة رأسية عند نقطة منسوبها ٨٠ قدم ــ أميل المنظار ٥٩° على الأفقى وكانت قراءات القامة ٣,٦٣ ٥,١٤ ٦,٦٥ قدم أوجد المسافة الأفقية بين الجهاز والقامة ــ وكذلك منسوب خط النظر علماً بأن إرتفاع الجهاز = ٤,٥ قدم .

٢ ــ أخذت القراءات الآتية على قامة رأسية موضوعة عند نقطتين بواسطة جهاز تاكيومترى بغرض تعيين الثابت التاكيومترى والأضافى . عين الثابتين :

قراءات القامة	زاوية الارتفاع	المسافة الأفقية
٢,٣١٣ ٣,٠٥٩ ٣,٨٠٦ قدم	صفر	١٥٠ قدماً
٦,١٤٦ ٧,١٥٠ ٨,١٥٤ قدم	٥°	٢٠٠ قدماً

٣ ــ عين معدل الإنحدار بين نقطتين ا ،ب من الأرصاد الآتية المأخوذة بتاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابتة التاكيومترى ١٠٠ .

من الجهاز	الإنحراف	القراءات	الزاوية الرأسية
إلى ا	٧٥°	١,٢٠-٢,٠٠-٢,٨٠	+ ١٠° ١٢′
إلى ب	٣٤٥°	٢,٩٠-٢,١٠-١,٣٠	- ٤° ٤٨′

٤ ــ تيودوليت مزود بعدسة تحليلية وثابتة التاكيومترى ١٠٠ وضع عند نقطة ب وكان إرتفاع المحور الأفقى للجهاز ١,٣٥ متر وأخذت الأرصاد التالية :

الجهاز عند إلى	الدائرة الأفقية	الدائرة الرأسية	القراءات
ا	٥٢٨ ٢١ ٠٠		
ب			
حـ	٥٨٢ ٠٣ ٠٠	٥٢٠ ٣٠ +	٢,٨٢ ، ٢,٠٠ ١,١٨ متر

فإذا كانت إحداثيات نقطة ا هى ٥٤٦,٢ شرقاً ، صفر شمالاً وإحداثيات ب هى ٥٤٦,٢ شرقاً ، ٣٩٤,٦ جنوباً ــ فعين إحداثيات نقطة حـ ومنسوبها إذا كان منسوب نقطة ب هو أربعة أمتار تحت سطح البحر .

٥ ــ قمة تل معلوم من إرتفاعها بأنه ٢٠٥٥ متر فوق سطح المياه فى بحيرة ــ رصدت هذه القمة من الجانب الآخر للبحيرة ، وكانت زاوية إرتفاعها ′١٠ °٥ فإذا كانت زاوية إنخفاض صورة القمة فى مياه البحيرة ′٤٠ °٨ .

أوجد المسافة الأفقية من الجهاز إلى التل ــ وأوجد كذلك الفرق بين منسوبى النقطتين . أعتبر أن معامل الإنكسار للماء هو نفسه للهواء .

(الجواب المسافة الأفقية ١٦٩٢٧ متر المنسوب ١٥٣٠ مترا) .

٦ ــ عند ميل خط النظر فى تاكيومتر درجتين اعتبرت أن المسافة المائلة تساوى المسافة الأفقية . ما هو الخطأ النسبى فى تحديد هذه المسافة ؟.

٧ ــ أوجد إلى أى زاوية رأسية يمكن إعتبار المسافة المائلة تساوى المسافة الأفقية فى القياس التاكيومترى بحيث أن الخطأ لا يزيد عن ١/ ٣٠٠ . توجد عدسة تحليلية .

٨ ــ وضعت قامة رأسية ورصدت بتيودوليت عادى ورصدت الزوايا الرأسية لهدفين على القامة ، فإذا كانت المسافة الرأسية بينهما = ٤,٢٦ متراً والفرق بين ظلى زاويتى الارتفاع = ٠,٠٤٤ ما منسوب نقطة القامة إذا كان ظل زاوية الهدف السفلى = ٠,١٦١ والارتفاع من الأرض للهدف العلوى = ١,٧٥ متر ومنسوب سطح الجهاز تحت سطح البحر بمقدار ٤ متر .

٩ ــ ا ب حـ حدود قطعة أرض ، وضع الجهاز المزود بمنشور المسافة فوق ا ورصدت القامة الخاصة به فكانت قراءة صفر الورنية = ١٢٢,٤ وقراءة الميكرومتر ١٦,٤ وإرتفاع الحامل فوق ب = ١,٦٦ مترا وزاوية إنخفاض القامة ٤ ٢ ٥° على إعتبار أن منتصف القامة هو الذى رصد . وضع جهاز الردتا فوق حـ وأستعملت نفس القامة الخاصة بمنشور المسافة فوق ب فكانت قراءة صفر الورنية = ٢٤٤,٦ والميكرومتر ١١,٥ وكانت زاوية إرتفاع القامة = ١٨ ٥° . فإذا كان ارتفاع الجهاز فوق ا = ١,٤٤ متراً وإرتفاع خط النظر للردتا فوق حـ = ١,٦٦ متراً ومنسوب ا = ١٧ متراً تحت سطح البحر . أحسب أولاً ــ المسافة بين ا ، حـ ثانياً ــ معدل إنحدار ا حـ كل ١٠٠ متر من المسافة الأفقية منه . هذا مع العلم بأن الزاوية حـ ب ا = ١١′ ١٥٤° .

١٠ ــ البعد البؤرى لعدسة الشيئية فى منظار هو ١٢ بوصة والمحور الرأسى للدوران فى منتصف المسافة بين الشيئية والبؤرة . وضعت القامة على بعد ٣٠١,٥ قدماً من المحور الرأسى للجهاز وكان الجزء المقطوع بين شعرتى الاستاديا على القامة = ٣,٠٠ قدم . ما هى المسافة بين شعرتى الاستاديا فى الجهاز ؟

١١ ــ لايجاد منسوب النقطة ا من النقطة ب المعلوم منسوبها وضع التيودوليت فوق نقطة جديدة حـ وأخذت القراءات الآتية على القامتين الموضوعتين رأسياً فوق ا ، ب فكانت :

القامة	الزاوية الرأسية	قراءات الشعرات (م)
ا	- ٣٠ ً ٣٥ َ ٥٧	٢,٠٥٥ ، ١,٥٠٢ ، ٠,٩٥٠
ب	+ ٣٠ ٥٠ ١٠	١,٠١٨ ، ٢,٠٠ ، ٠,٥٨٢

فإذا علم أن الجهاز به عدسة تحليلية والثابت التاكيومترى = ١٠٠ وأن منسوب ب = ٤٢,٠٣ متراً . أحسب منسوب نقطة ا .

١٢ ــ فى ترافرس أريد إيجاد المسافة بين النقطتين ا ،ب ،ا كانت ظاهرة من س إحدى نقط الترافرس ، أما ب فكانت ظاهرة من نقطة أخرى ص . أخذت أرصاد تاكيومترية من س ، ص على قامتين موضوعتين فوق ا ،ب وكانت الأرصاد كما يلى :

نقطة الترافرس	الاحداثيات ص س	نقطة القامة	الانحراف	الزاوية الرأسية	قراءات الشعرات (م)
س	١٠٠ ش ٣٨٠٠ ق	ا	٤٢ ٣٢٦°	٣٢ ٠٩°	١,٥٠ ، ٢,١١ ، ٢,٧٢
ص	٧٤٠ ش ٣٦٠٠ ق	ب	٣٧ ١٠°	١٨ ١٢°	١,٨٠ ، ٢,٢٥ ، ٢,٧٠

الجهاز مزود بعدسة تحليلية والثابت التاكيومترى ١٠٠ . أحسب المسافة ا ب وانحراف ا ب .

١٣ ــ قيس الضلع ا ب شكل (١٥٦) بالطريقة التالية . الزوايا α_1 ، α_2 ، θ كما فى الشكل وقيست المسافتان ا حـ$_1$ ، ا حـ$_2$ ، بقضيب أنفار موضوع عند حـ$_1$ ، حـ$_2$ وبتيودوليت ا . بذا حصلنا على طولين للضلع ا ب وأخذ المتوسط الزاوية عند ا المحصورة بالقضيب عند حـ$_1$ = ١,٢٧ ٠٥ ١°

شكل (١٥٦)

الزاوية عند ا المحصورة بالقضيب عند حـ $_{٢}$ = ٣٠ً ٠٤َ ٥١° ،

θ = ٣٣ً ٣٥َ ٠٠ ١٠°، $\alpha_{١}$ = ٢٧ً ٥١ ٥٢°، $\alpha_{٢}$ = ٥٥ً ٥٣ ٥٢° احسب المسافة الأفقية ا ب .

١٤ ــ أخذت قراءات من جهازى تاكيومتر عند نقطة ا التى منسوبها ١٥,٠٥ متر إلى قامة موضوعة فوق ب .

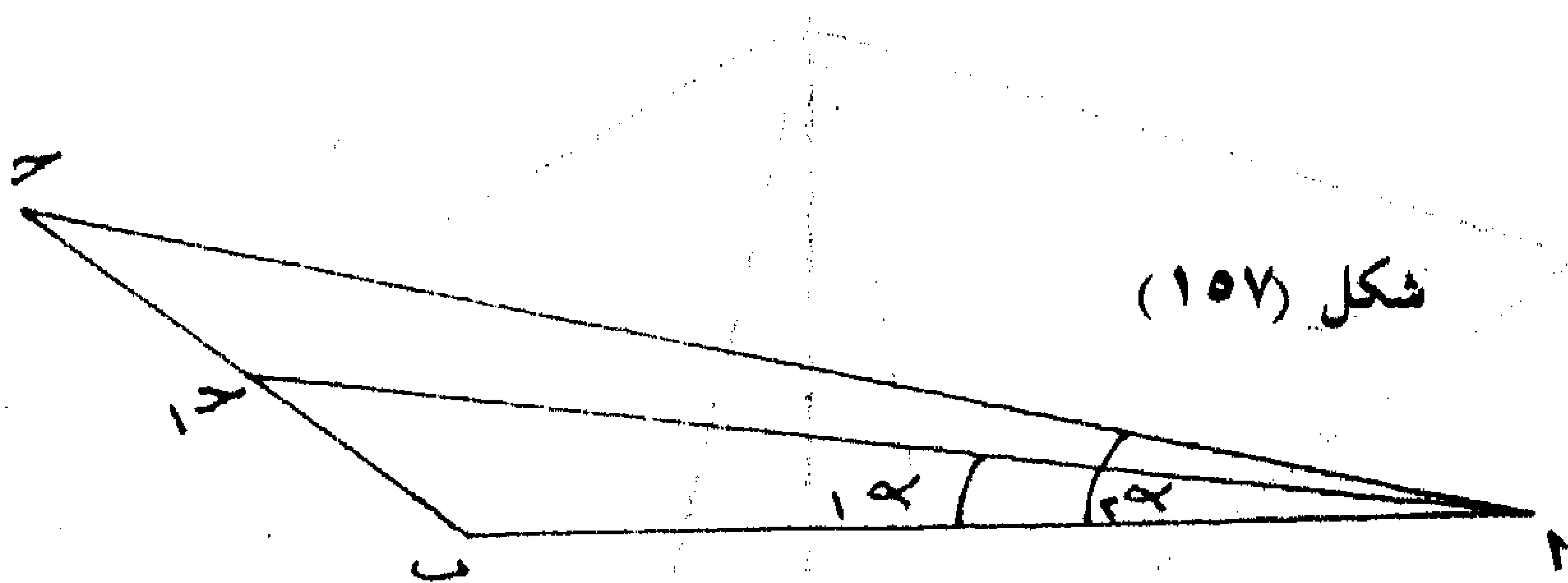
الجهاز الأول (ϱ): ثابتة التاكيومترى ١٠٠ وثابتة الأضافى ١٤,٤ بوصة
الجهاز الثانى (ϕ): ثابتة التاكيومترى ٩٥ وثابتة الأضافى ١٥,٠ بوصة

وكان ارتفاع الجهاز (ϱ) عند ا = ١,٤٥ متر وزاوية الارتفاع ٣٠° والقراءات ١,٣٧ ، ٢,٣١ ، ٣,٢٧ متر . فإذا كان ارتفاع الجهاز (ϕ) عند ا = ١,٥٨ متر وزاوية الارتفاع ٣٣° فما هى القراءات الواجبة على القامة بالجهاز ϕ .

١٥ ــ شكل (١٥٧) يبين ضلعى ترافرس ا ب ، ب ى مع قاعدة مساعدة ب ى ، أحسب أطوال أضلاع الترافرس من الأرصاد التالية :

< ب ا حـ = ٣٠" ١٠' ٥°
< حـ ب ا = ١٠" ٥٦' ٦٨°   < حـ ى ب = ٢٠" ٥٤' ١٢°
< ض ب س = ٠٠" ٥٦' ٥١°   < ى ب حـ = ٤٠" ١٨' ٧٣°

وكان قضيب أنفار المستعمل = ٢ متر .



شكل (١٥٧)

١٦ ــ أريد قياس خط ا ب بإستعمال قضيب الأنفار فأقيمت قاعدة مساعدة ا حـ عند ا وعلى جانب واحد من ا ب فإذا كانت زاوية البرالاكس عند ا هي ٣٤′ ٥٤° والزاوية حـ ا ب ٣٩′ ٨٦° والزاوية ا ب حـ ١٢′ ٥٤° فعين طول الخط ا ب وهل طول القاعدة المساعدة مناسب أم لا .

بين أيضاً إذا كانت هذه الطريقة مناسبة لقياس هذا الخط أم لا . وإذا لم تكن كذلك فما هي الطريقة المناسبة .

١٧ ــ وضع تاكيومتر على جانب جبل ورصد طرفا طريق ا ب فكانت زاوية الارتفاع عندما رصدت ا هي ٢٠′ ٢٥° وقراءات الشعرات ٢,٢٥ ، ٣,٠٩ ، ٣,٩٣ متر والجهاز مزود بعدسة تحليلية ثم رصدت قامة عند ب بزاوية انخفاض ٤٨° فكانت القراءة ٣,٨٠ متر ولما خفض المنظار حتى أصبحت الزاوية ٦٠° رصدت أسفل نقطة فى القامة . فإذا كان إنحراف الخط من التاكيومتر إلى ا = ٣٢٧° وإلى ب = ١١٧° فما مقدار انحدار الطريق ا ب . إذا كان البعد البؤرى للشيئية = ٢٥ سم والمسافة بين شعرتى الأستاديا = ٢٥ م .

١٨ ــ قيس خط ا ب بإستعمال قضيب الأنفار وخط قاعدة مساعد عمودى على جانب واحد من ا ب وفى منتصفه تماماً فإذا كان طول الخط ا ب هو ٦٨٤ متر وطول القاعدة المساعدة هو ٢٨ متر . فعين زاوية البرالاكس وكل من الزاويتين الموجودتين عند طرفى الخط .

وإذا كان خط القاعدة المساعد ينصف ا ب وعلى جانبيه فما هى زاوية البرالاكس وكل من الزاويتين المرصودتين عند طرف الخط فى هذه الحالة .

١٩ ــ قيس خط ا ب بوضع قضيب الأنفار عمودياً عليه وفى منتصفه تقريباً فإذا كانت الزاويتين المرصودتين عند كل من ا ، ب هى ٢٧′ ٥١° ، ٣٥′ ٥١° على الترتيب فما هو طول الخط .

٢٠ ـ تاكيومتر شعراته ثابتة والبعد البؤرى لعدسة الشيئية = ٢٥ سم وبعدها عن المحور الرأسى للجهاز = ١٢ سم رصد به على قامة موضوعة رأسيا فكانت القراءات ٢,٢٨ ـ ١,٨٦ ـ ١,٢٨ عندما كان خط النظر يميل ١٦′ ٨° إلى أعلى ثم وضعت القامة أفقياً فى مكان الراصد نفسه بحيث كان خط النظر عند تخفيضه لمستواها متعامدا عليها ومنصفا لها وقيست الزاوية الأفقية بين موقع الجهاز وطرفى القامة فكانت ١٦′ ٢° ـ عين الثابت التاكيومترى للجهاز .

٢١ ـ أوجد المسافة الأفقية بطريقة القاعدة الرأسية إذا كانت الزاويتان الرأسيتان المرصودتان هما ١٦′ ٦° ، ١٤′ ١° .

٢٢ ـ رصدت قامة موضوعة فوق روبير على سطح البحر فكانت قراءات الشعرات هى على التوالى (١,٠٠ ، ١,٨٨ ، ٢,٧٦) وزاوية الارتفاع ١٤′ ٦° ونقلت القامة إلى نقطة أخرى ل فكانت القراءات ٠,٥٠ ، ٢,٠٠ ، ٣,٥٠ وزاوية الانخفاض ٥٢′ ٣° عين منسوب ل والمسافة الأفقية بينها وبين ل . اعتبر ث = ١٠٠ ، ك = ٣٠ سم .

القسم الرابع
المنحنيــــات

مقدمـــــة

« الخط المستقيم هو أقصر الطرق بين نقطتين ولكن المنحنى أجملها »

إن هذه العبارة لها من النواحى المعنوية والفنية الكثير ، ولكن المنحنى لا يلعب دوره فى جمال المنظر فقط ، وإنما له ضروراته التى تستلزم وجوده فى كثير من المشروعات والمنشئات والمبانى والطرق والسكك الحديدية . ودراسة المنحنيات ضرورة لا يستغنى عنها المهندس حتى تستكمل مشروعاته النواحى الفنية والنواحى التجميلية التى يستلزمها المشروع أحياناً كما فى حالة الطرق والمبانى إذ كثيراً ما يضفى على الطريق رونقاً وجمالاً احتوائه على منحنيات تنساب فى اتساق متلاحقة ببعضها أفقية أو رأسية . وما الأمر بأقل أهمية فى المبانى والمنشئات .

الباب السابع عشر

المنحنيات الدائرية البسيطة

(Simple Circular Curves)

تعتبر دراسة المنحنيات ذات أهمية فى كثير من المشروعات وخصوصاً مشروعات الطرق والسكك الحديدية وأعمال الرى . وتستعمل المنحنيات عموماً فى الأعمال الهندسية للتغيير من إتجاه خط مستقيم إلى إتجاه آخر سواء أكان ذلك فى المستوى الأفقى (منحنيات أفقية) أو فى المستوى الرأسى (منحنيات رأسية) . وفى المستوى الأفقى يوصل المنحنى الأفقى هذين الاتجاهين لتفادى التغير المفاجىء فى الانحراف ويكون هذا المنحنى مماساً لهما .

وأبسط أنواع المنحنيات هو القوس الدائرى ويتوقف نصف قطره على عدة عوامل أهمها نوع وأهمية المشروع وطبوغرافية المنطقة وظروف الانشاء .

والأسس العامة للتخطيط لهذه المنحنيات عموماً واحدة فى جميع المشروعات وإن كانت تختلف تبعاً لنوع ودقة العمل المطلوب .

ففى مشاريع السكك الحديدية والطرق الرئيسية تكون أنصاف أقطار المنحنيات الدائرية كبيرة ويحتاج الأمر إلى دقة عالية جداً فى تخطيط هذه المنحنيات أما فى مشاريع الرى أو الطرق الثانوية فتكون أنصاف أقطار المنحنيات صغيرة ولا تحتاج إلى دقة كبيرة فى توقيعها .

وتحتوى دراسة المنحنيات جزأين أساسيين هما بالتحديد :

الجزء الأول : ويشمل دراسة أجزاء المنحنى وعناصره والعلاقات الرياضية التى تربط هذه الأجزاء .

الجزء الثانى : ويشمل طرق إدخال وتخطيط وتوقيع المنحنيات فى الطبيعة .

أنواع المنحنيات الدائرية

يمكن تقسيم المنحنيات الدائرية إلى ثلاثة أنواع :

١ ــ منحنى دائرى بسيط : (Simple Circular Curve)

وهو عبارة عن قوس من دائرة نصف قطرها ثابت ، ويصل بين إتجاهين مستقيمين ويكون مماساً لهما شكل (١٥٨) . وهذا النوع يعد أبسط أنواع المنحنيات وأسهلها فى التوقيع والتخطيط ، وهى موضوع هذا الباب .

٢ ــ منحنى دائرى مركب : (Compound Curve)

وهو يصل بين إتجاهين معلومين ويتركب من قوسين دائريين أو أكثر أنصاف أقطارها مختلفة . هذه الأقواس متماسة عند نقط إتصالها ببعض وانحناؤها فى إتجاه واحد ، أى أن مراكز التقوس فى ناحية واحدة من المماس أو المماسات المشتركة شكل (١٥٩) .

٣ ــ منحنى دائرى عكسى : (Reverse or Serpentine)

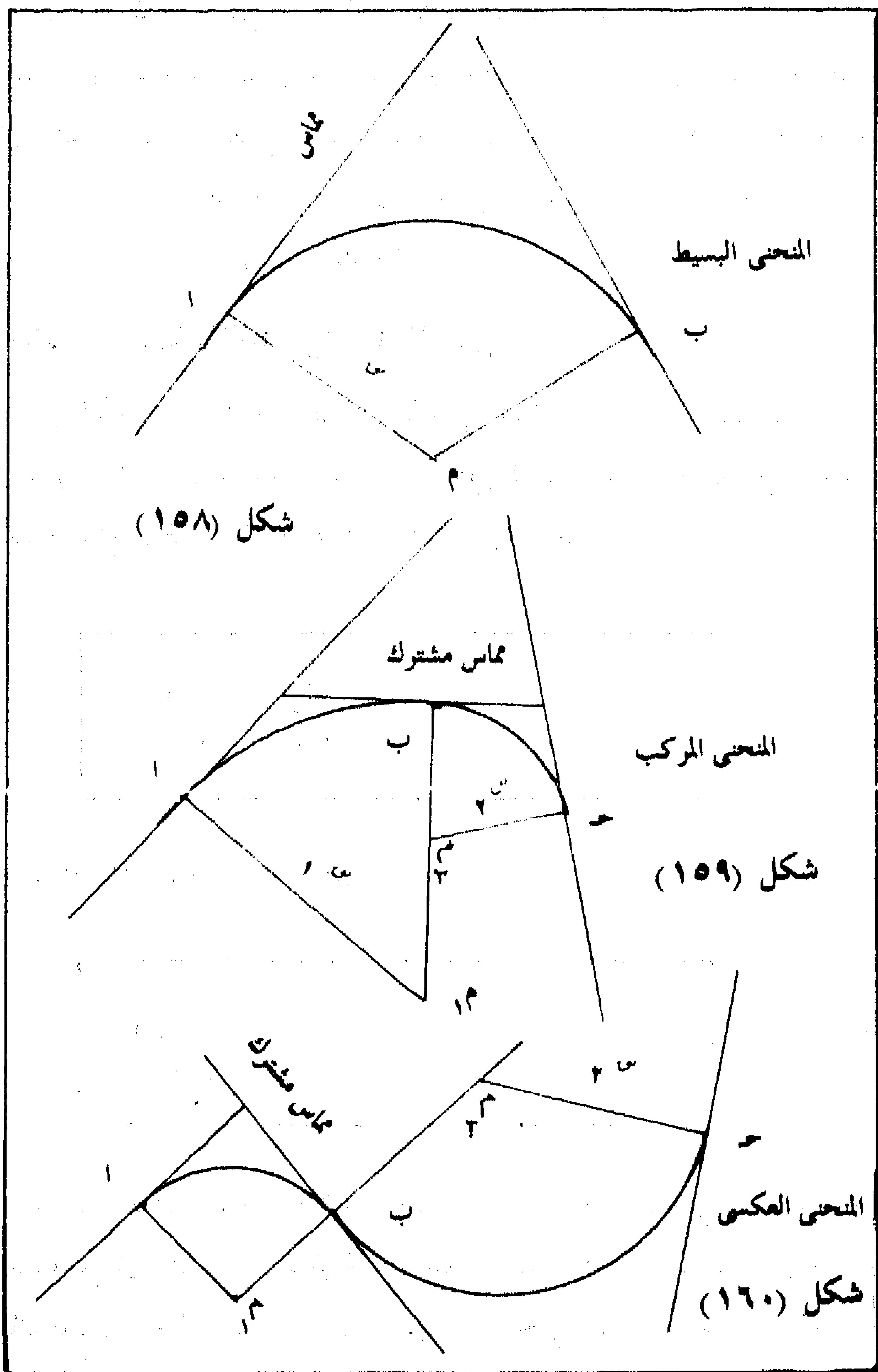
وهو مثل المنحنى المركب ولكن إتجاه التقوس فى أحد القوسين يكون مخالفاً لاتجاه التقوس فى الذى يليه ، أى أن مركزى كل منحنيين متتاليين ليسا فى جهة واحدة من المماس المشترك ، شكل (١٦٠) وأنصاف الأقطار قد تكون متساوية أو مختلفة . كما أن الاتجاهات المستقيمة قد تكون متوازية ..

تعريف المنحنى

توجد طريقتان لتقدير أو لتعريف المنحنى فقد يعرف المنحنى بنصف قطره أو بدرجة انحنائه .

١ ــ طريقة نصف القطر :

وهى الطريقة المستعملة فى مصر ، ويقدر طول نصف القطر بالمتر ، أما فى أمريكا وإنجلترا فيقدر بالقدم وحالياً بالمتر حيث أدخل أيضاً النظام المترى .


مماس
المنحنى البسيط
ا
ب
م
شكل (١٥٨)
مماس مشترك
المنحنى المركب
ا
ب
حـ
شكل (١٥٩)
مماس مشترك
ا
ب
حـ
المنحنى العكسى
شكل (١٦٠)

٢ ـــ طريقة درجة المنحنى . (Degree of Curve)

درجة المنحنى هى الزاوية المركزية المقابلة لوتر معلوم يطلق عليه (وتر القياس) ، ويؤخذ طول هذا الوتر فى مصر ٢٠ متراً أى جنزيراً واحداً ، أما فى الدول التى تستعمل النظام الإنجليزى فيؤخذ ١٠٠ قدم . فمثلاً منحنى درجته ٤ عبارة عن قوس دائرى فيه الوتر الذى طوله ٢٠ متراً (أو ١٠٠ قدم) يقابل زاوية مركزية قدرها ٤° .

العلاقة بين نصف القطر ودرجة المنحنى :

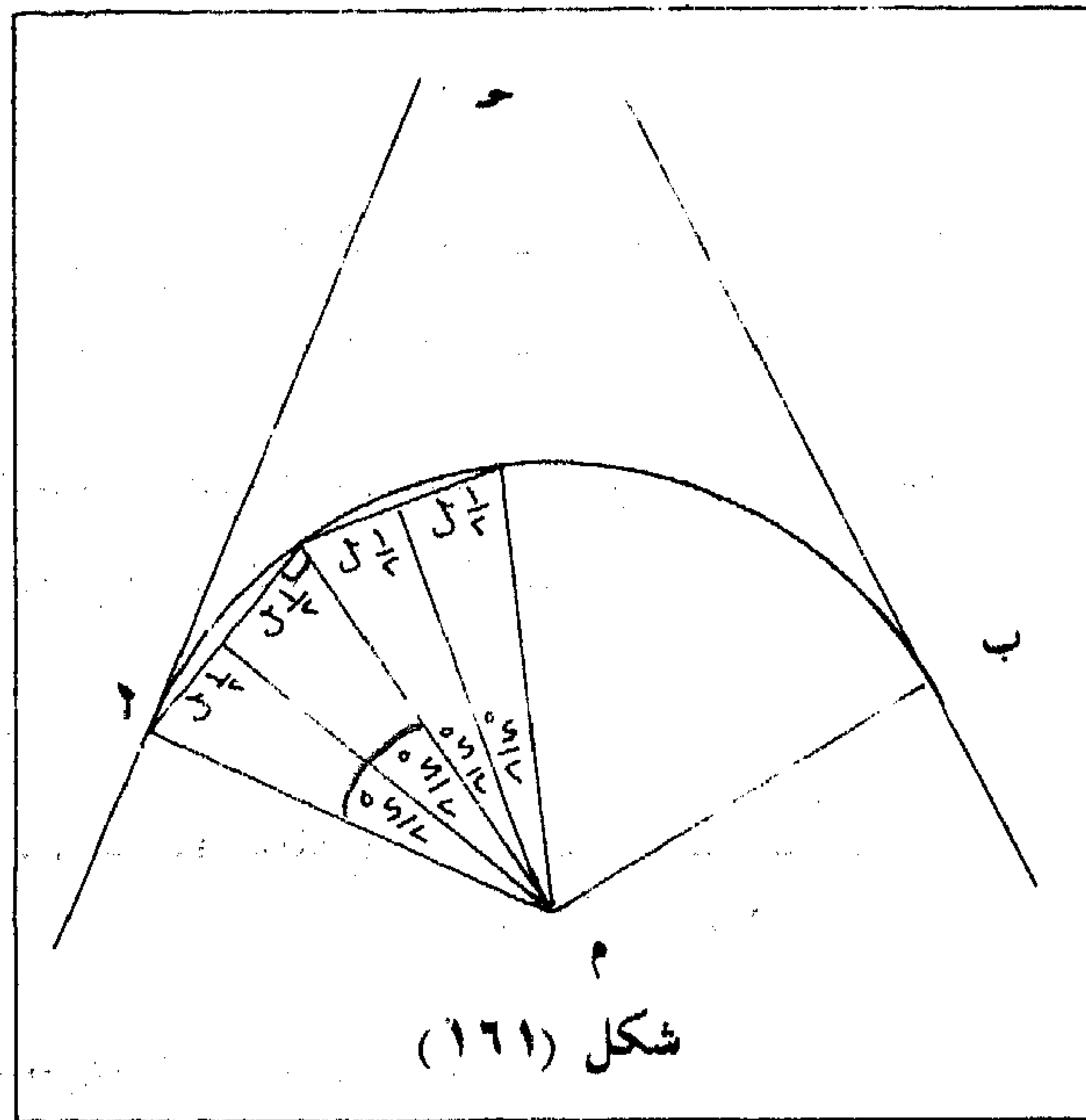
فى شكل (١٦١) نفرض أن المنحنى هو ا ب ونصف قطره (ى) ويمس المستقيمين ا حـ ، حـ ب عند ا ، ب على الترتيب فإذا أخذنا على القوس وتراً معلوماً (ل) فتكون الزاوية هى (ء) أى درجة المنحنى . ومن الشكل لدينا

$$جا \frac{ء^{\circ}}{٢} = \frac{ل}{٢ ى} \qquad .... (٩٨)$$

وإذا كان الوتر = ٢٠ متراً

$$جا \frac{ء}{٢} = \frac{١٠}{ى} \qquad ..... (٩٩)$$

وهذه المعادلة تمثل العلاقة الحقيقية بين درجة المنحنى ونصف قطره ، وتستعمل فى الحسابات الدقيقة أو عندما تكون درجة المنحنى كبيرة . أما إذا كان نصف القطر كبيراً ، أى أن درجة المنحنى صغيرة ، فيمكن إعتبار الوتر مساوياً لطول القوس المقابل له ، وبذا يمكن استنتاج العلاقة التقريبية الآتية تسهيلاً للحساب وإختصاراً للعمل كالتالى :



شكل (١٦١)

$$\text{ى} = \frac{\text{٣٦٠}}{\text{ء}} \times \frac{\text{ل}}{\text{٢ ط}} = \frac{\text{٥٧,٣ ل}}{\text{ء}}$$

فإذا كانت ل = ٢٠ متراً فإن :

$$\text{ى (متر)} = \frac{\text{١١٤٦}}{\text{ء ٥}} \quad \text{.....(١٠٠)}$$

وإذا كانت ل = ١٠٠ قدم فإن :

$$\text{ى (قدم)} = \frac{\text{٥٧٣٠}}{\text{ء ٥}} \quad \text{.....(١٠١)}$$

ونصف القطر المحسوب من المعادلات التقريبية أقل من المحسوب بالمعادلة المضبوطة (٩٩) .

والفرق بين كل من العلاقة الحقيقية والعلاقة التقريبية هو فى الواقع مقارنة قيمة الوتر بقيمة القوس أو مقارنة جيب الزاوية بقيمتها بالتقدير الدائرى .

مثال ١ — أوجد نصف قطر المنحنى الذى درجته = ٦° بالطريقتين التقريبية والمضبوطة (الوتر = ٢٠ متراً) .

الحـــل :

نق (بالطريقة المضبوطة) = $\frac{١٠}{\text{جا } ٣°}$ = $\frac{١٠}{٠,٠٥٢٣٤}$ = ١٩١,٠٦ متر

نق (بالطريقة التقريبية) = $\frac{١١٤٦}{٦}$ = ١٩١,٠٠ متراً

مثال ٢ — كم يكون مقدار نق لو كانت درجة المنحنى ٣٠° .

الحـــل :

نق (بالطريقة المضبوطة) = $\frac{١٠}{\text{جا } ١٥°}$ = $\frac{١٠}{٠,٢٥٨٨}$ = ٣٨,٦٤ متر

نق (بالطريقة التقريبية) = $\frac{١١٤٦}{٣٠}$ = ٣٨,٢٠ متر

وبهذا يتضح أن الفرق بين الطريقتين المضبوطة والتقريبية يزداد كلما زادت درجة المنحنى وبالتالى كلما صغر نصف قطر المنحنى ، فالفرق فى المثال الأول ٦ سم وفى الثانى ٤٤ سم . ويمكن كذلك إستنتاج نسبة الخطأ عند إعتبار أن القوس مساوياً لطول الوتر وهى نسبة صغيرة جداً لا تتعدى ٥ × ١٠$^{-٥}$ لمنحنى درجته ٨° .

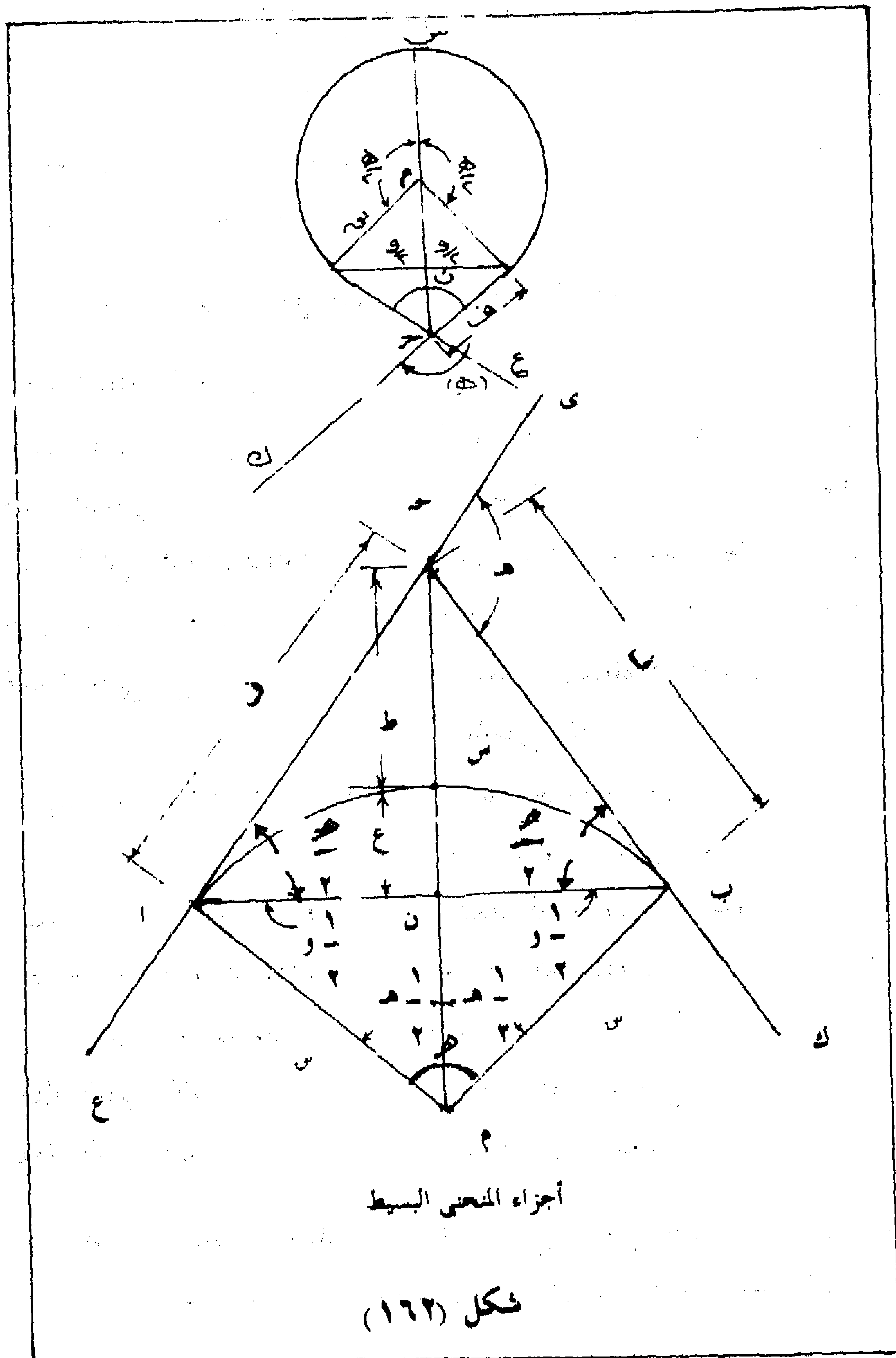
أجزاء وعناصر المنحنى البسيط

نفرض فى شكل (١٦٢) بحالتيه أن ا س ب منحنى دائرى بسيط يمس المستقيمين ع ا ، ك ب ونقطتا التماس هما ا ، ب أى بداية ونهاية القوس الدائرى . حـ نقطة تقاطع المماسين .

والكميات التى نتعامل معها يمكن حصرها كالتالى :

زاوية تقاطع المماسين		= هـ °
نصف قطر المنحنى	= ا م = ب م = س م	= نق
طول المنحنى	= القوس ا س ب	= ل
الوتر الكلى (Long chord)	= الخط الواصل بين نقطتى التماس	= و
طول المماس الجزئى	= ا حـ = حـ ب	= ف
قمة المنحنى س	= النقطة المتوسطة فى المنحنى بين نقطتى التماس	
السهم الداخلى (Versed Sine)	= البعد العمودى بين قمة المنحنى والوتر الكلى	= ع
السهم الخارجى أو المسافة الخارجية (External Dist.)	= البعد العمودى بين نقطة التقاطع وقمة المنحنى	= ط
الزاوية المركزية للمنحنى	= ب م ا	= هـ °
نقطة التماس الأولى ا	= نقطة إبتداء المنحنى	
نقطة التماس الثانية ب	= نقطة إنتهاء المنحنى	

ويقال أن المنحنى متيامن إذا كان تدريج المنحنى مبتدئاً من نقطة التماس اليسرى ومتجهاً نحو اليمين ، ومتياسر إذا كان مبتدئاً من نقطة التماس اليمنى ومتجهاً إلى اليسار .



أجزاء المنحنى البسيط

شكل (١٦٢)

حساب أجزاء وعناصر المنحنى

لحساب أجزاء وعناصر المنحنى الدائرى البسيط يلزم الأمر معرفة مقدارين أساسيين وهما نصف قطر المنحنى (س) أو درجة المنحنى (ء) وكذلك زاوية تقاطع المماسين (هـ) ويتوقف مقدار نصف قطر المنحنى وبالتالى درجته على عدة عوامل كثيرة منها سرعة الحركة على الطريق أو السكة ونوع المرور ونوعية المشروع وعوامل أخرى ــ أما بالنسبة للزاوية بين المماسين فهذه تحدد من واقع التخطيط .

وبمعرفة المقدارين س ، هـ يمكن تحديد أجزاء المنحنى كالتالى :

أولاً ــ طول المماس الجزئى (ف) :

فى المثلث ا م حـ :

$$\text{ظا } \frac{1}{2}\text{هـ} = \frac{\text{ا حـ}}{\text{ا م}} = \frac{\text{ف}}{\text{س}} \quad \text{ومنها :}$$

$$\text{ف} = \text{س ظا } \frac{1}{2}\text{هـ} \qquad \ldots\ldots (١٠٢)$$

ثانياً ــ طول الوتر الكلى (و) :

فى المثلث ا ء م :

$$\frac{1}{2}\text{و} = \text{س جا } \frac{1}{2}\text{هـ}$$

$$\text{و} = ٢\text{س جا } \frac{1}{2}\text{هـ} \qquad \ldots\ldots (١٠٣)$$

ثالثاً ــ طول المنحنى (ى) :

$$ى = \frac{هـ^\circ}{١٨٠} . ط س = ٠,٠١٧٤٥٢٣ هـ^\circ س$$

$$ى = ٠,٠١٧٤٥ هـ^\circ س \qquad ..... (١٠٤)$$

حيث هـ بالدرجات .

أما إذا كان المنحنى مقداراً بدرجته وطول الوتر =ل . ونصف القطر كبير بحيث يمكن إعتبار طول الوتر = طول القوس .

$$ى = \frac{هـ^\circ}{ء^\circ} . ل \qquad ..... (١٠٥)$$

رابعاً ــ طول السهم الداخلى :

طول السهم = س م ــ م ح = س ــ س جتا $\frac{١}{٢}$هـ

= س (١ ــ جتا $\frac{١}{٢}$هـ)

طول السهم الداخلى = س (١ ــ جتا $\frac{١}{٢}$ هـ) ..... (١٠٦)

$$\text{طول السهم الداخلى} = ن - \sqrt{ن^{٢} - \frac{و^{٢}}{٤}}$$ .... (١٠٧)

خامساً ـــ طول السهم الخارجى (المسافة الخارجية) :

من المثلث ا م حـ : $\text{قا} \frac{١}{٢}\text{هـ} = \frac{\text{م حـ}}{ن}$

ولكن حـ س = م حـ ـــ ن = السهم الخارجى (ط) .

$$\text{السهم الخارجى} = ط = ن \left(\text{قا} \frac{١}{٢}\text{هـ} - ١ \right)$$ ...... (١٠٨)

سادساً ـــ الفرق بين طول القوس والوتر المقابل له :

$$\text{طول المنحنى} - \text{طول الوتر} = ن - و$$

$$= \frac{ن^{٣}}{٢٤ ن^{٢}} = \frac{و^{٣}}{٢٤ ن^{٢}}$$

.... (١٠٩)

ويقل هذا الفرق عملياً كلما صغر الوتر وكبر نصف القطر أى كلما صغرت درجة المنحنى .

وجدول (٢٣) يوضح الحد الأقصى لدرجة المنحنى والحد الأدنى لنصف القطر عند اعتبار طول الوتر مساوياً لطول القوس .

جدول (٢٣)

طول الوتر (بالمتر)	الحد الأدنى لنصف القطر (بالمتر)	الحد الأقصى لدرجة المنحنى
٢٠	٢٨٦,٥	٤°
١٥	١٩١,٠	٦
١٢	١٦٢,٢	٨
١٠	١٤٤,٦	١٠
٨	٧٦,٤	١٥
٦	٥٤,٦	٢١
٥	٤٧,٧	٢٤
٤	٣٨,٢	٣٠
٢	٣٠,٠	أكثر من ٣٠°

تعيين نصف قطر المنحنى فى الطبيعة

نحتاج فى بعض الأحيان إلى إيجاد نصف قطر منحنى فى الطبيعة كمنحنى خط سكة حديد لا يمكن الوصول إلى مركز المنحنى ، أو يكون على مسافة كبيرة بحيث لا يكون من المناسب عملياً أن نقيس نصف القطر قياساً مباشراً .

فى شكل (١٦٣) نقيس طول الوتر بين أى نقطتين على المنحنى فى الطبيعة ، وليكن ب ب$_{1}$. نقيس طول العمود س ط (سهم المنحنى) من منتصف الوتر ولدينا :

(ب ط . ط ب$_{1}$ = س ط . ط س$_{1}$)

∴ $\frac{1}{4}$ و^{2} = ع (٢ ى — ع) = ٢ ع ى — ع^{2}

ومنها يمكن إيجاد س

وعادة تكون ع صغيرة جداً بالنسبة إلى س ويمكن إهمال $ع^2$ ويصبح لدينا :

$$س = \frac{و^2}{8 ع} \quad ...... (110)$$

تدريج المنحنى :

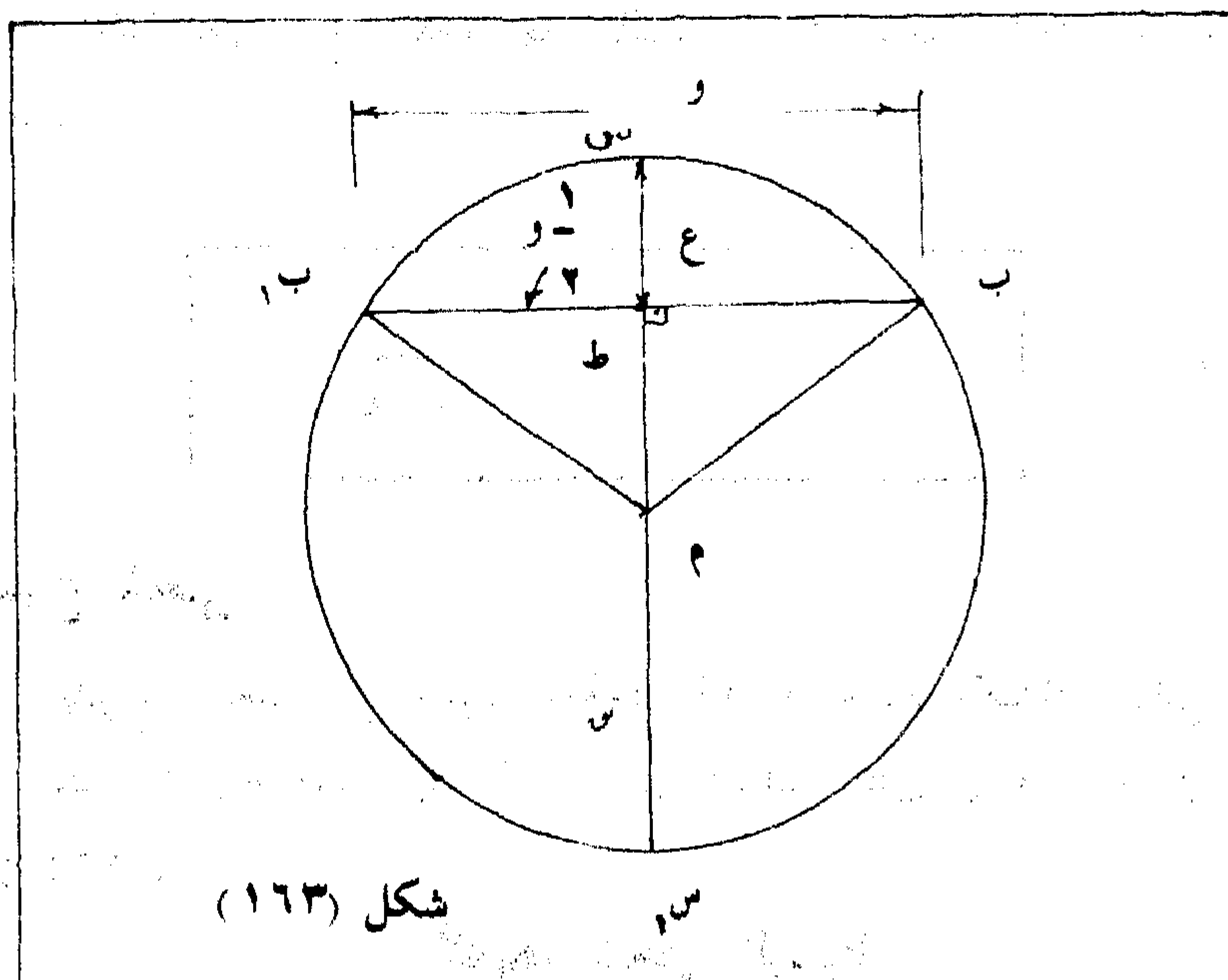
يدرج المنحنى كل جنزير ويكون التدريج امتداد لامتداد المماس الأول ويستمر التدريج بعد انتهاء المنحنى على المماس الثانى كما هو مبين فى شكل (١٦٤)

تخطيط المنحنى البسيط

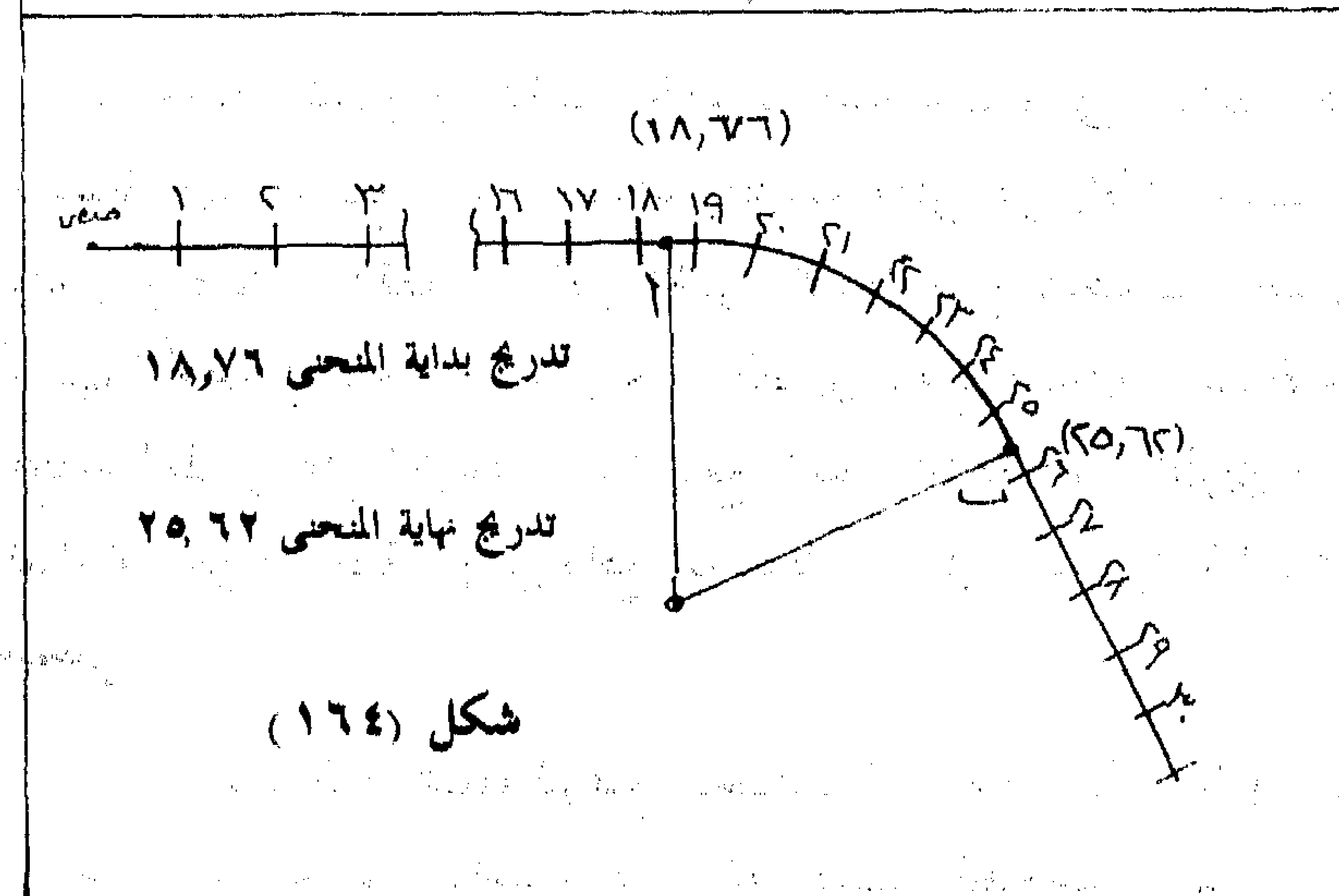
يبدأ تخطيط المشروع (بما فيها الخطوط والمنحنيات) على الخرائط الكنتورية للمنطقة حيث توضع الحلول الممكنة والمناسبة والتى تفى بالأشتراطات الخاصة بالميول وأنصاف الأقطار ومناطق الحفر والردم ونزع الملكية ــ وبعد إختيار أنسب الأوضاع للأجزاء المستقيمة من الطريق توضع المنحنيات بين الاتجاهات المختلفة للطريق على الخريطة ومنها توقع النقط المحددة لمحور الطريق من واقع القياسات من الخريطة . ومن واقع التخطيط كما ذكرنا تحدد زاوية انحراف كل منحنى .

وتوجد عدة طرق مختلفة لتوقيع المنحنيات الدائرية البسيطة ، وعلى المهندس أن يختار الطريقة التى تناسب كل حالة حسب الظروف المحيطة بها والدقة المطلوبة .

وإذا كان محور المشروع مكوناً من خطوط مستقيمة ومنحنيات تصل بينها ، فإن المستقيمات توقع أولاً ثم تخطط بعدها المنحنيات .



شكل (١٦٣)



شكل (١٦٤)

أولاً ـــ تخطيط الخطوط المستقيمة

للخطوط المستقيمة حالتان :

١ ـــ أن تكون الخطوط موجودة فعلاً فى الطبيعة :

٢ ـــ أن تكون الخطوط موجودة على الخريطة حسب التصميم المقترح ومعلوم مواقعها بالنسبة لبعض الأشياء الثابتة الموجودة فى الخريطة كالمنشآت والمبانى والموجودة أيضاً فى الطبيعة أو بالنسبة لخطوط ترافرسات موجودة فى الخريطة والطبيعة أيضاً . لتوقيع المحاور المستقيمة على الطبيعة نأخذ مقاسات طولية من الخريطة تربط بين نقط الترافرس أو نواصى المبانى أو أية معالم ثابتة وبين نقط على محور الطريق المستقيم بحيث يتيسر توقيع أكبر عدد ممكن من النقط على هذا المحور ، ومن المفروض أن تكون هذه النقط جميعها على خط واحد ولكنا لا نجدها غالباً كذلك ، فيكون من الواجب حينئذ تعديل مواقع هذه النقط فى أضيق الحدود حتى نحصل على الخط المستقيم الذى يتوسطها .

وتدق أوتاداً فى هذه النقط ، وغالباً تكون على أبعاد ٢٠ متراً حسب أهمية العمل ، وبذا نحصل على إتجاهات الخطوط المستقيمة والمماسات التى سوف نصلها بمنحنى تدق على إتجاهه أوتاداً على مسافات متساوية . ويبدأ ترقيم علامات الأوتاد من أول الطريق المستقيم ، ثم يستمر تسلسل الترقيم حتى نصل إلى أول المنحنى ويستمر عليه ثم تنتقل بعد ذلك إلى الطريق المستقيم وهكذا شكل (١٦٤) .

ثانياً ـــ تخطيط المنحنى

تخطيط المنحنى معناه تعيين مواضع عدة نقط تقع على المنحنى على أبعاد من بعضها بمقدار يتناسب مع طول المنحنى بحيث أننا لو وصلنا بينها خطوط مستقيمة (أوتار المنحنى) فإننا نحصل على محور المنحنى فى الطبيعة . والمسافة بين النقط تكون عادة ٢٠ متراً ، أما إذا كان نصف قطر المنحنى صغيراً فإنها تقل إلى ١٠ أمتار ، وقد تصل إلى خمسة أمتار أو أقل .

وخطوات تخطيط المنحنى مهما اختلفت طريقة التخطيط عموماً هى :

أولاً — تحديد وقياس زاوية انحراف المنحنى (تحديد إتجاهى المماسين وتعيين نقطة التقاطع) .

ثانياً — تحديد نقطتى ابتداء وانتهاء المنحنى .

ثالثاً — اختيار الطريقة المناسبة لتحديد النقط المختلفة على المنحنى .

أولاً — تحديد وقياس زاوية المنحنى وتعيين التقاطع :

بعد تحديد اتجاهى المماسين كما سبق ذكره نمدها باستعمال الشواخص أو التيودوليت حتى نحصل على نقطة تقاطعهما ح شكل (١٦٥) كما يلى :

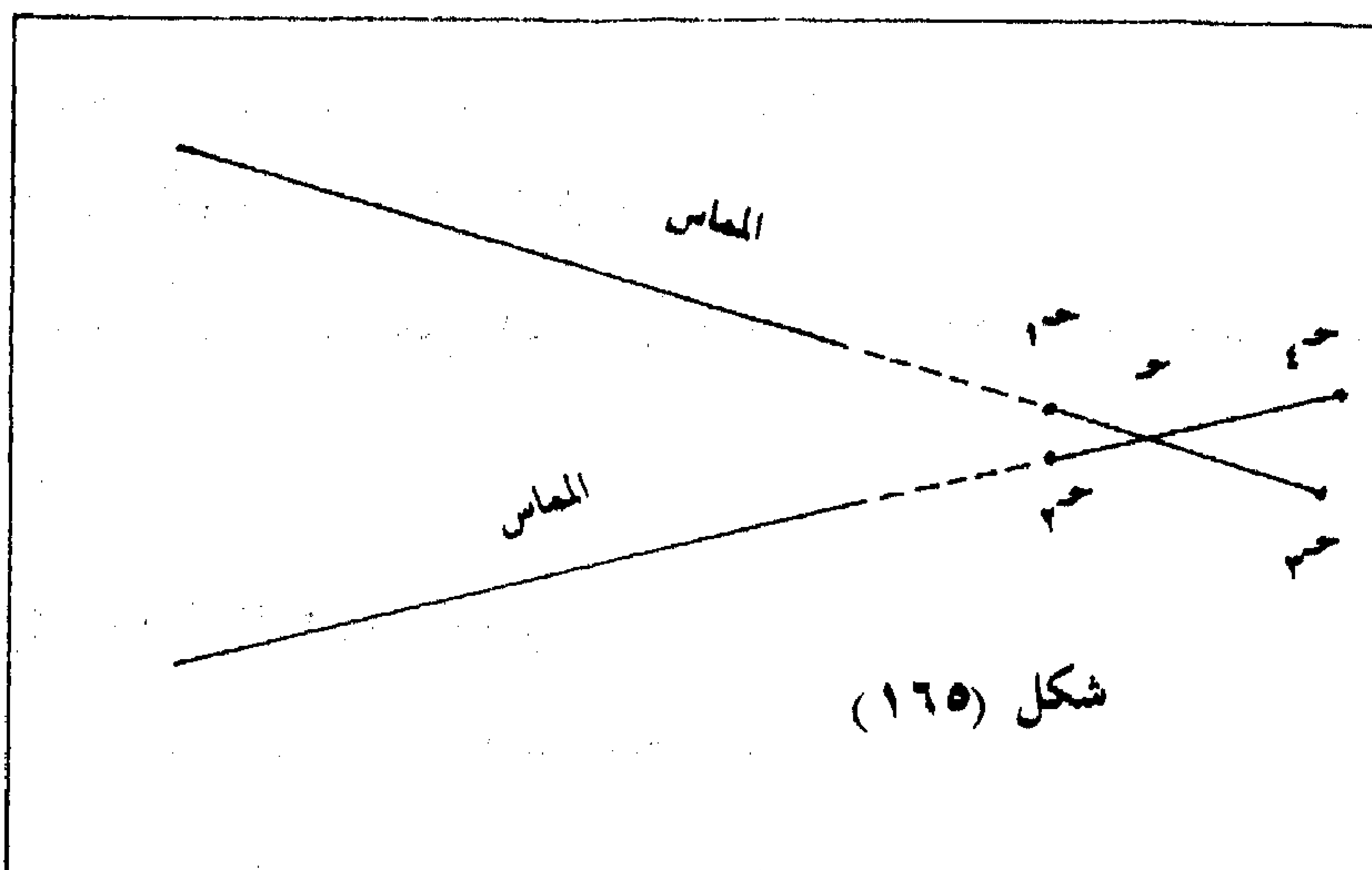
١ — نضع التيودوليت مسامتا أحد الأوتاد ونوجه المنظار نحو احدى العلامات المثبتة على خط المحور ثم نقلب المنظار حول محوره الأفقى ونعين امتداد الطريق الأول عند نقطة التقابل بالتقريب فنعين $ح_{١}$ قبل نقطة التقاطع والنقطة $ح_{٢}$ بعدها باستعمال التيودوليت ، وبذا يصبح $ح_{١}$ $ح_{٢}$ جزءاً من الطريق الأول .

٢ — ننتقل بالتيودوليت إلى إحدى النقط المثبتة على محور الطريق الثانى ونكرر نفس العمل السابق فنحصل على النقطتين $ح_{٣}$ ، $ح_{٤}$ قبل نقطة التقابل وبعدها فيكون الخط $ح_{٣}$ $ح_{٤}$ جزءاً من محور الطريق الثانى ، وتكون نقطة تقاطع الخطين $ح_{١}$ $ح_{٢}$ ، $ح_{٣}$ $ح_{٤}$ هى ح المطلوبة التى يمكن تعيينها بشد خيط بين الشوكتين $ح_{١}$ ، $ح_{٢}$ وشد خيط آخر بين الشوكتين $ح_{٣}$ $ح_{٤}$. نثبت وتدافى ح ، وندق مسماراً فى رأس الوتد مع التوجيه بالتيودوليت لتعيين ح بدقة .

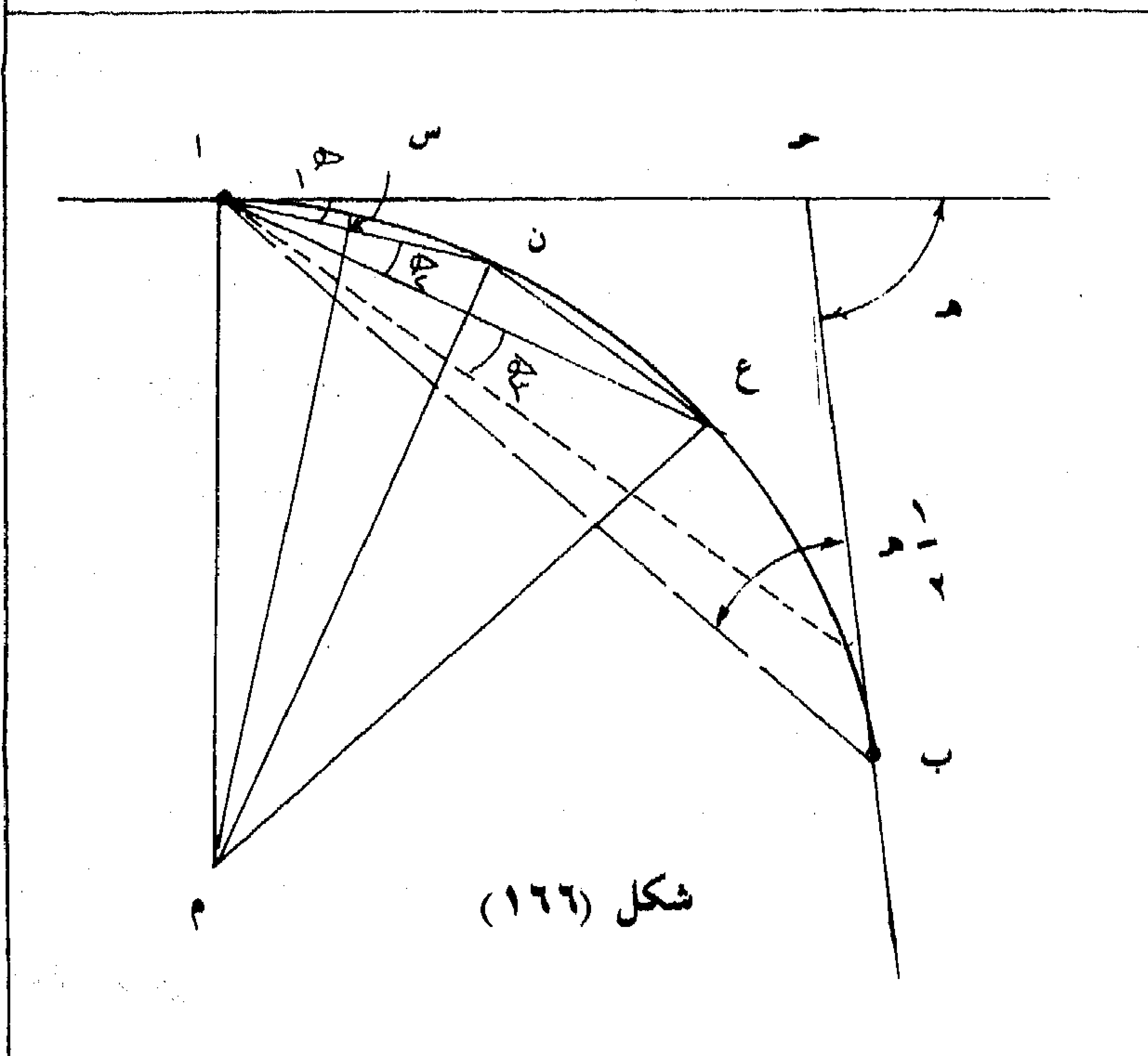
٣ — ننقل التيودوليت إلى ح وتقيس زاوية التقاطع (هـ) شكل (١٦٦).

ثانياً — تحديد نقطتى بداية ونهاية المنحنى :

نحسب (ف) طول كل من المماسين ونحدد هذا الطول على كل من



شكل (١٦٥)



شكل (١٦٦)

المماسين ابتداء من نقطة التقاطع فتتعين ا ،ب نقطتا التماس فنثبت فيها وتدين وندق فى رأس كل منهما مسماراً .

ويحسن أن يكون القياس الطولى فى هذه الحالة باستعمال الشريط مع التوجيه بالتيودوليت لدقة العمل .

وكتحقيق للعمل ننقل الجهاز إلى ا ونقيس الزاوية حـ ا ب فيجب أن تكون ($\frac{1}{2}$ هـ) .

طرق تخطيط المنحنيات الدائرية :

نورد فيما يلى طرق تخطيط المنحنيات الدائرية البسيطة .

١ ــ التخطيط باستعمال التيودوليت والشريط (القياسات الزاوية والطولية) .

٢ ــ التخطيط باستعمال جهازى تيودوليت (القياسات الزاوية فقط) .

٣ ــ التخطيط باستعمال الشريطين (القياسات الطولية فقط) .

١ ــ التخطيط باستعمال التيودوليت والشريط :

هذه أنسب الطرق إذا كانت الدقة المطلوبة كبيرة ، كما فى حالة تخطيط منحنيات السكك الحديدية وهى تمتاز بسهولتها وسرعتها ولا تحتاج إلى عمليات حسابية كثيرة ، ونستعمل فيها تيودوليتاً واحداً وشريطاً . والنتائج التى نحصل عليها جيدة جداً إذا كانت أطوال الأوتار كبيرة بالنسبة لنصف قطر المنحنى إلى حد يكون الفرق بين طول الوتر والقوس المقابل له كبيراً ولا يمكن إهماله وهذه الطريقة تسمى (طريقة زوايا الانحراف) .

تخطيط المنحنى :

١ ــ يوجه التيودوليت توجيهاً أساسياً إلى حـ وهو متسامتا فوق أول المنحنى ا .

٢ ــ نربط مسمار الحركة السفلى فى التيودوليت ، ونفك العلوى ثم نحرك المنظار حتى يعين الميكرومتر مقدار زاوية الانحراف الأولى (هـ ١) (طريقة الحساب ستبين فيما بعد) . ثم نربط مسامير الحركة الأفقية

٣ ــ نثبت أول الشريط عند ا ويمسك شخص آخر طولا من الجنزير يساوى طول القوس المعلوم (طول القوس يساوى طول الوتر) وهذا القوس أو الوتر يساوى ٢٠ متراً غالباً . يتحرك الشخص ، مع شد الشريط ، حتى ترصد الشوكة التى بيده خلال المنظار ، ولتكن الشوكة فى وضع (ە) مثلاً . هذه النقطة تقع على المنحنى وتكون أول نقطة وقعت بعد نقطة التماس ا .

٤ ــ يسحب الشريط ويثبت طرفه الخلفى عند (ە) . نفك مسمار ربط القرصين ونعين زاوية الانحراف الثانية (هـ ٢) أى تكون زاوية الأنحراف كلها من ح ا = (هـ ١ +هـ ٢) . نحرك طرف الشريط الأمامى ونعين نقطة (ع) بنفس الطريقة السابقة فتكون هى النقطة التالية على المنحنى بعد نقطة (ە) نعين (هـ ٢) وهكذا نستمر نقطة بعد أخرى حتى ينتهى توقيع نقط المنحنى كله . ويلاحظ أنه عند توقيع آخر نقطة ب للتحقيق يجب أن تكون زاوية الانحراف الكلية مساوية تماماً للمقدار ($\frac{هـ}{٢}$) أى نصف زاوية التقاطع .

حساب زوايا الانحراف :

يكون التدريج على المنحنى ، غالباً فى المشروعات استمرارا لتدريج المماس ، وتوقيع النقط كل جنزير (٢٠ متراً) . وغالباً لا يكون أول المنحنى على نهاية مسافة ٢٠ متراً كاملة من آخر نقطة على المماس قبل المنحنى ، وبذا فإن أول نقطة على المنحنى قد لا تكون على بعد وتر كامل (٢٠ م) من نقطة التماس الأولى لأن التدريج مستمر على المماس والمنحنى ، وإنما تكون على مسافة جزء من الوتر فى هذه الحالة ويطلق عليها (الوتر الجزئى) (Subchord) .

(الوتر الجزئى الأول) هو طول الوتر من نقطة التماس الأولى ا إلى النقطة الأولى على المنحنى . ويرمز له بالرمز $ل_١$.

(الوتر الجزئى الأخير) هو طول الوتر بين تدريج آخر نقطة ونقطة التماس الثانية . ويرمز له بالرمز $ل_٢$.

وكما ذكرنا آنفاً يمكن اعتبار طول الوتر مساوياً طول القوس المقابل له إذا كان طول الوتر صغيراً بالنسبة لنصف القطر ، وهو ما يحدث غالباً ، وإلا فإنه يجب حساب طول الوتر الحقيقى المقابل للقوس حتى يمكن توقيع النقط على المنحنى ، فمثلاً لتعيين نقطة على بعد ٢٠ متر من النقط السابقة نحسب طول الوتر (أقل من ٢٠ متراً) لأننا أثناء العمل نوقع بطول الوتر ، وليس بطول القوس ، وألا فإننا نأخذ طول الوتر ٢٠ أو حتى ٥ أمتار حتى يمكن اعتبار طول القوس يساوى طول الوتر .

ولحساب زوايا الانحراف توجد طريقتان :

١ ــ المعادلة المضبوطة :

فى شكل (١٦٦) : الزاوية ا م س = $هـ_١$

$$جا هـ_١ = \frac{\frac{١}{٢} ل}{نق}$$

وهذه المعادلة يمكن أن تستعمل سواء أكان الوتر صغيراً أم كبيراً بالنسبة لنصف القطر .

٢ ــ المعادلة التقريبية :

إذا أعتبر الوتر = طول القوس فإن :

$$\text{الزاوية ا م س (بالتقدير الدائرى)} = \frac{\frac{١}{٢}\ \text{طول القوس}}{نق}$$

$$\text{الزاوية أ م س (بالدرجات)} = \frac{\frac{1}{2}\text{ل}}{2\,\text{ط}\,\text{ع}} \times 360^\circ = \frac{1}{2} \times \frac{57{,}3}{\text{ع}}$$

$$\text{الزاوية أ م س بالدقائق} = 60 \times \frac{1}{2} \times \frac{57{,}3\,\text{ل}}{\text{ع}} = \frac{1718{,}9\,\text{ل}}{\text{ع}}$$

ولكن الزاوية أ م س = الزاوية الأولى $هـ_1$ وبذا فإن :

$$هـ_1 = \frac{1718{,}9\,\overset{\frown}{\text{ل}}}{\text{ع}} \qquad \ldots\ldots (111)$$

حيث $هـ_1$ بالدقائق .

وللحصول على نتائج جيدة يجب ألا نستعمل المعادلة السابقة إلا إذا أمكن اعتبار طول الوتر يساوى طول القوس ، أى يجب أن يكون نصف القطر كبيراً بالنسبة للوتر — وهذه المعادلة كافية من الناحية العملية ونستغنى فيها عن الجداول الرياضية .

وإذا كان طول الوتر الثانى = طول الوتر الأول .

فإن الزاوية المحيطة هـ أ ع = $\frac{1}{2}$ الزاوية المركزية هـ م ع = $هـ_2$.

وإذا كانت الأوتاد جميعها متساوية فإن $هـ_1 = هـ_2 = هـ_3 = \ldots\ldots$

زاوية الانحراف الأولى = $هـ_1$

زاوية الانحراف الثانية = $هـ_1 + هـ_2 = 2هـ_1$

زاوية الانحراف الثالثة = $هـ_1 + هـ_2 + هـ_3 = 3هـ_1$

... ... وهكذا حتى نصل إلى نقطة التماس الثانية = $\frac{1}{2}$ هـ °

أما إذا كان طول الوتر الأول غير كامل أى وتراً جزئياً وليكن طوله $ل_1$ فتحسب زاوية الانحراف الأولى $هـ_حـ$ كما يلى :

$$هـ_{حـ} = \frac{١٧١٨,٩ \, ل_1}{نق} \quad \dots \dots \text{ بالدقائق}$$

$$هـ_1 = هـ_{حـ} + هـ_1$$

$$هـ_٢ = هـ_٢ + هـ_1 = هـ_{حـ} + ٢ \, هـ_1$$

... ...

$هـ_ن$ = زاوية الانحراف لآخر نقطة على المنحنى قبل نقطة التماس الثانية

$$= هـ_{حـ} + (ن - ١) \, هـ_1$$

ثم نحسب طول الوتر الجزئى الأخير وزاويته المحيطية من المعادلة ولتكن $هـ_ن$ فيجب أن يكون :

$$\frac{١}{٢} \, هـ \, ٥ = هـ_{حـ} + (ن - ١) هـ_1 + هـ_ن \quad \dots \dots (١١٢)$$

مثال — يراد توقيع منحنى نصف قطره ٦٠٠ متراً بأوتاد طول كل منها ٢٠ متراً وبجهاز يقرأ إلى ٢٠ ثانية . احسب زوايا الانحراف اللازمة لتوقيع المنحنى ، علماً بأن زاوية التقاطع = ٣٦′ ٢٤° وتدريج نقطة تقاطع المماسين = ٧٣,٨٨ جنزيراً .

الحـــل :

ف = ٦٠٠ ظا $\frac{١}{٢}$ (٣٦′ ٢٤°) = ١٣٠,٨ متراً = ٦,٥٤ جنزيرا

تدريج نقطة التماس الأولى = ٧٣,٨٨ — ٦,٥٤ = ٦٧,٣٤ جنزيراً

طول الوتر الجزئى الأول $ل_١$ = ٦٨,٠٠ — ٦٧,٣٤ = ٠,٦٦ جنزيراً
لأن تدريج النقطة الأولى على المنحنى = ٦٨,٠٠ جنزيراً

$$هـ_ح = \frac{١٧١٨,٩ \times ٠,٦٦}{٣٠} = ٣٧,٨١'$$

$$هـ_١ = \frac{١٧١٨,٩ \times ١}{٣٠} = ٥٧,٣٠'$$

وبما أننا نقرب إلى ٢٠ ثانية :

زاوية انحراف النقطة الأولى ($هـ_ح$) = ٤٠″ ٣٧′
زاوية انحراف النقطة الثانية ($هـ_١$) = ٣٧,٨١ + ٥٧,٣ = ٩٥,١١′
= ٠٠″ ٣٥′ ١°
زاوية انحراف النقطة الثالثة (هـ) = ٩٥,١١ + ٥٧,٣٠ = ١٥٢,٤١′
= ٢٠″ ٣٢′ ٢°

... ...

زاوية انحراف النقطة الثالثة عشر ($هـ_{١٣}$) = ٦٦٨,١١′ + ٥٧,٣٠′
= ٧٢٥,٤١′ = ٢٠″ ٥′ ١٢°

وهذه هى النقطة الأخيرة قبل نقطة التماس الثانية لأن $\frac{١}{٢}$ هـ = ١٨′ ١٢°

ولو حسبنا $هـ_{١٤}$ لوجدنا أنها تزيد عن $\frac{١}{٢}$ هـ °

تحقيق العمل الحسابى :

طول المنحنى = ٠,٠١٧٤٥ × ٢٤,٦° × ٣٠ = ١٢,٨٨ جنزير
تدريج نقطة التماس الثانية = ١٢,٨٨ + ٦٧,٣٤ = ٨٠,٢٢ جنزير
طول الوتر الجزئى الأخير $ل_٢$ = ٠,٢٢ جنزير

$هـ_هـ$ = ٠,٢٢ × ٥٧,٣٠′ = ١٢,٦١′

وفى حسابنا السابق = ١٨′ ٢ °١٢ ــ ٥,٤١′ ٢ °١٢ = ١٢,٥٩′

وبذا تحقق العمل الحسابى إذ أن الفرق ٠,٠٢ من الدقيقة وهذا الفرق الضئيل جداً ناتج من فرض أن طول الوتر يساوى طول القوس ، ولو كان هذا الفرق كبيراً فلا يمكن إهماله لأن فرض تساوى القوس والوتر يكون غير صحيح .

وتوجد طريقة أخرى بإستعمال درجة المنحنى وهى موضحة فى المثال التالى :

مثال ــ عين المقادير اللازمة لتخطيط منحنى درجته °٤ وزاوية انحرافه °٣٦ إذا كان تدريج نقطة التماس الأولى ٧٢,٦٠٠ .

الحـــل :

$$ن = \frac{١١٤٦}{ء} = \frac{١١٤٦}{٤} = ٢٨٦,٥ \text{ متراً}$$

طول القوس = ن × ٠,٠١٧٤٥ . هـ° ن

= ١٧٩,٩٨ متراً = ٩ جنازير

أو ن $= \frac{هـ°}{ء°} . ل = \frac{٣٦}{٤} \times ٢٠$

= ١٨٠ متراً = ٩ جنازير

تدريج نهاية المنحنى = ٧٢,٦٠٠ + ٩ = ٨١,٦٠٠

طول الوتر الجزئى الأخير = ٠,٦٠٠ طول الوتر الجزئى الأول = ٠,٤٠٠

زاوية انحراف وتر القياس $= \frac{ء°}{٢} = °٢$

زاوية انحراف النقطة الأولى $= \frac{ء}{٢} \times ل_{١}$

$= \frac{٤}{٢} \times ٠,٤ = °٠,٨ = ٤٨′$

زاوية الانحراف المقابلة للوتر الجزئى الأخير $= \frac{ء^{\circ}}{٢} \times ل_{٢}$

$= \frac{٤}{٢} \times ٠,٦ = ١٢' \; ٥١$

الكميات اللازمة للتخطيط هى كما بالجدول (٢٤) الآتى :

جدول (٢٤)

النقطة	التدريج	زاوية الانحراف المقابلة	زاوية الانحراف الكلية
أول المنحنى ا	٧٢,٦٠٠	٠٠″ ٠٠′ ٠٠°	٠٠″ ٠٠′ ٠٠°
١	٧٣	٤٨ ٠٠	٤٨′ ٠٠
٢	٧٤	٢	٤٨ ٢
٣	٧٥	٢	٤٨ ٤
٤	٧٦	٢	٤٨ ٦
٥	٧٧	٢	٤٨ ٨
٦	٧٨	٢	٤٨ ١٠
٧	٧٩	٢	٤٨ ١٢
٨	٨٠	٢	٤٨ ١٤
٩	٨١	٢	٤٨ ١٦
نهايته ب	٨١,٦٠٠	١٢′ ٥١	$\frac{هـ}{٢} =$ ١٨° ٠٠′

٢ ــ التخطيط بواسطة جهازى تيودوليت

تستعمل هذه الطريقة إذا كان المنحنى واقعاً فى أرض لا يمكن إستعمال الشريط أو الجنزير فيها كالأراضى الوعرة والمستنقعات .

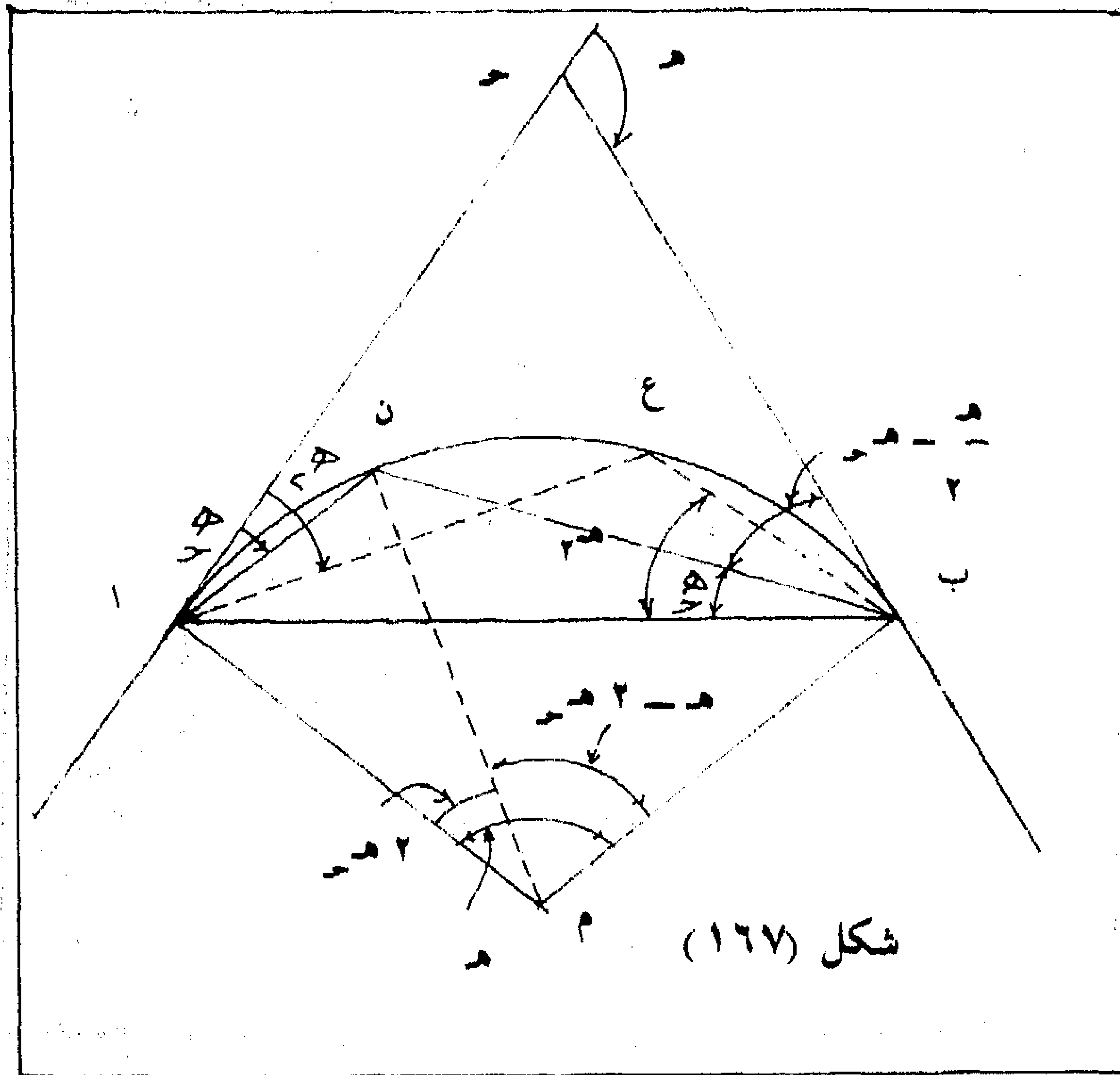
وتعتبر هذه الطريقة من أدق الطرق لأن كل نقطة توقع مستقلة عن أى نقطة أخرى ، ولكن عيبها ضرورة استعمال جهازى تيودوليت وأثنين من المهندسين فى آن واحد .

طريقة تخطيط المنحنى :

١ ــ يوضع تيودوليت فى كل من ا ،ب شكل (١٦٧) ويستعملان فى نفس الوقت بحيث يوجه التيودوليت فى ا توجيهاً أساسياً على المماس ا بينما يوجه التيودوليت فى ب توجيهاً أساسياً على الوتر الكلى ا ب .

٢ ــ تحسب زوايا الانحراف الكلية هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ ، هـ$_{٣}$ ، ... كما فى الطريقة السابقة ثم يحرف منظار التيودوليت فى ا بزاوية تساوى هـ$_{١}$ عن المماس ا حـ وفى نفس الوقت يحرف منظار التيودوليت فى ب بنفس الزاوية هـ$_{١}$ عن الوتر الكلى ا ب فيتقاطع خطا نظر التيودوليتين فى النقطة ا$_{١}$ وهى احدى نقط المنحنى وتعين بنفس الطريقة النقط ا$_{٢}$ ، ا$_{٣}$ وهكذا ويتم ذلك بأن نحرك شوكة أو شاخص حتى يقع على خطى النظر فى كل من الجهازين فى آن واحد فيكون موقع الشوكة هو موقع النقطة على المنحنى .

٣ ــ فى حالة صعوبة رؤية نقطة ا من نقطة ب توقع زوايا الانحراف من المماس الجزئى ب حـ بالنسبة للتيودوليت الموضوع فى ب ، وتكون زوايا الانحراف التى ينحرف بها منظار هذا التيودوليت عن المماس ب حـ هى ($\frac{\text{هـ}}{٢}$ ــ هـ$_{١}$) ، ($\frac{\text{هـ}}{٢}$ ــ هـ$_{٢}$) ، ($\frac{\text{هـ}}{٢}$ ــ هـ$_{٣}$) لكى توقع النقط ا$_{١}$ ، ا$_{٢}$ ، ا$_{٣}$ على الترتيب ، حيث هـ هى زاوية تقاطع المماسين .



شكل (١٦٧)

٣ ــ التخطيط باستعمال القياسات الطولية فقط

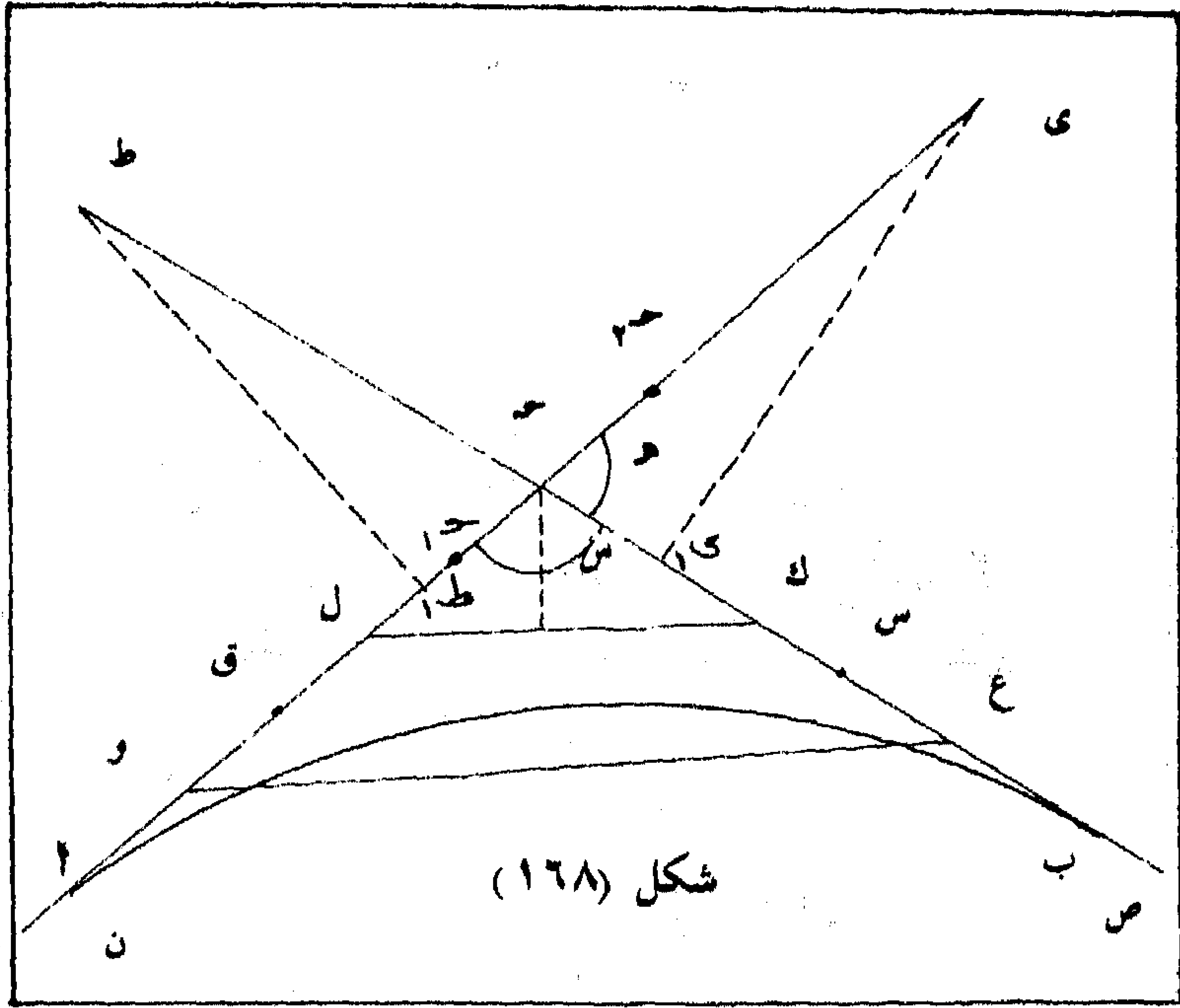
نستعمل هذه الطريقة عندما تكون الدقة العالية غير مطلوبة كما فى حالة الطرق ومنحنيات الترام القصيرة والمبانى وما شابه .

تعيين زاوية التقاطع :

توجد عدة طرق لايجاد زاوية التقاطع باستعمال القياسات الطولية ، ومن ثم نقطتى التماس ومن هذه الطرق ما يلى :

الطريقة الأولى :

نمد المماسين ﻫ ﻫ ، ص س بإستعمال الشواخص والشوك . نضع الشاخصين ح ١ ، ح ٢ على امتداد ﻫ ﻫ (شكل ١٦٨) ونشد بينهما شريطاً ، ثم نتحرك عليه حتى نعين نقطة ب على امتداد ص س فتكون هى



شكل (١٦٨)

نقطة تقاطع المماسين . يؤخذ على المماسين ح ل = ح ك بحيث يكون ك ل طولاً مناسباً ثم يقاس طوله .

$$\text{جا}\ \frac{1}{2}\ \text{س} = \frac{\frac{1}{2}\ \text{ك ل}}{\text{ك ح}}$$

زاوية التقاطع هـ = ١٨٠° — س

الطريقة الثانية :

نمد ص إلى ط شكل (١٦٨) ونسقط منها عموداً على المماس الآخر وليكن ط ط_1 وكذلك العمودى ى ى_1 . يقاس كل من ح ط_1 ، ط_1 ط ، ح ى_1 ، ى ى_1 .

$$\text{ظا هـ} = \frac{\text{ط}\ \text{ط}_1}{\text{ح}\ \text{ط}_1} = \frac{\text{ى}\ \text{ى}_1}{\text{ح}\ \text{ى}_1}$$

نأخذ متوسط القيمتين الناتجتين فنحصل على قيمة هـ .

الطريقة الثالثة :

إذا لم يتيسر أخذ طولين متساويين ، نختار أى نقطتين مثل و ، ع على ا ب ، ب حـ على الترتيب شكل (١٦٨) ونقيس أضلاع المثلث ع حـ و ثم نحسب الزوايا بمعلومية الأضلاع باستعمال قانون جيب التمام .

تخطيط المنحنى :

وفيما يختص بتخطيط المنحنى نفسه فتوجد لذلك عدة طرق وهى :

أولاً — طريقة امتداد الوتر السابق :

تعتبر هذه الطريقة أحسن الطرق لتوقيع منحنى طويل . وتوجد حالتان :

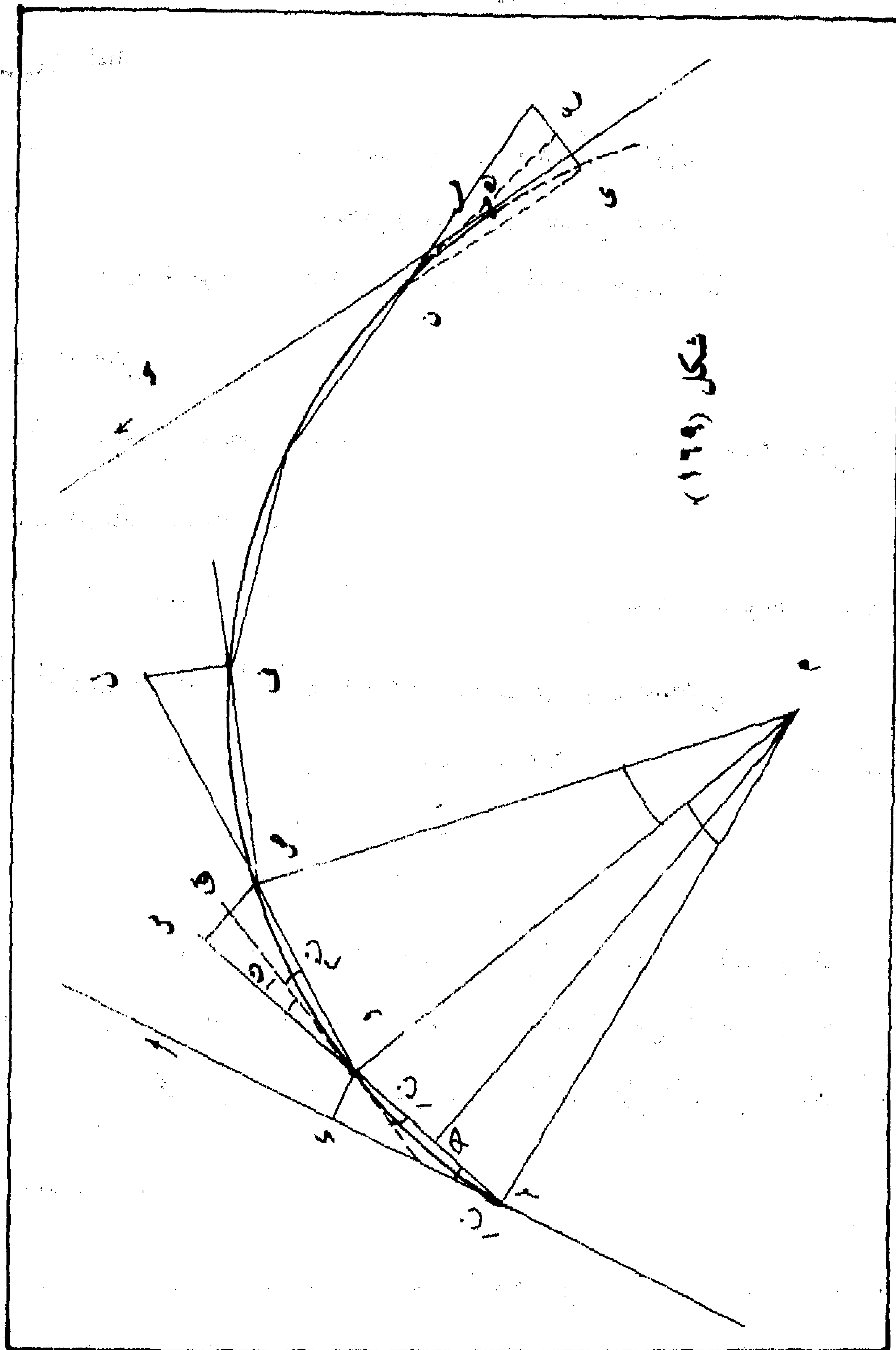
الحالة الأولى — عندما لا يوجد وتر جزئى فى أول المنحنى :

١ — نعين نقطتى التماس ا ، ب شكل (١٦٩) بأن نقيس من حـ الطول

حـ ا = حـ ب = ف = نق ظا $\frac{١}{٢}$ هـ .

٢ — نركز بأول الشريط فى نقطة التماس ا ، وبنصف قطر يساوى ا ى (طول الوتر ل) نحرك طرف الشريط حتى نحصل على البعد ى و بحيث أن ى و = $\frac{ل^{٢}}{٢ نق}$ فتكون (و) هى موقع النقطة الأولى على المنحنى (يمكن أخذ ى و عمودياً على ا ى) .

٣ — نسحب الجنزير أو الشريط ونجعله على إمتداد ا و ، وتأخذ عليه الطول س و = ل ، ونركز فى و ى وبنصف قطر = و س نرسم قوساً بحيث أن س ص = $\frac{ل^{٢}}{نق}$ فتكون ص هى موقع النقطة الثانية على المنحنى .



شكل (١٦٩)

٤ ــ نمد و ص إلى ل بحيث أن ل ص = طول الوتر ل . نركز فى ص ونجرى ما سبق بحيث أن ف ل = $\frac{ل^{٢}}{س}$ ونستمر فى العمل لتعيين نقطة بعد أخرى .

٥ ــ لتحقيق العمل عند الوصول إلى نقطة التماس الثانية ب ، نوجد طول الوتر الجزئى الثانى هـ ب ، وليكن $ل_{٢}$ ونوقع ط ، ى كما سبق باعتبار أن هـ ط ، هـ ى وتر كامل . ننصف ط ى فى ع يكون هـ ع هو المماس عند هـ . من ب نسقط العمود ب ك ونقيس طوله فيجب أن يكون طوله يساوى $\frac{ل^{٢}}{٢ س}$.

ملحوظة : يمكن أخذ الأبعاد و ى ، س ص عمودية على ا ى ، س و بدون أى خطأ يذكر .

الحالة الثانية ــ عندما يوجد وتر جزئى ($ل_{١}$) عند أول المنحنى :

إذا أخذنا الحالة العامة وهى أن كل الأوتار مختلفة وفرضنا أن الوتر الأول الجزئى $ل_{١}$ ، والوتر الثانى $ل_{٢}$ ، والوتر الثالث $ل_{٣}$ وهكذا . فإن طريقة العمل لا تتغير فى الغيط عما سبق إلا من ناحية أخذ الأطوال .

$$\text{العمود الأول} = و ى = \frac{ل_{١}^{٢}}{٢ س}$$

حيث ا ى = و ص = $ل_{١}$

$$\text{العمود الثانى} = س ص = \frac{ل_{٢} (ل_{١} + ل_{٢})}{٢ س}$$

حيث و س = و ص = $ل_{٢}$

العمود الثالث = هـ ل = $\frac{ل_3 (ل_2 + ل_3)}{2\,نق}$

حيث صل = هـ ص = $ل_3$

العمود الميمى = $\frac{ل_م (ل_{م-1} + ل_م)}{2\,نق}$ ...... (١١٣)

العمود الأخير النونى = $\frac{ل_{هـ} (ل_{هـ-1} + ل_{هـ})}{2\,نق}$

حيث $ل_{هـ}$ = الوتر الجزئى الأخير

وفى الحالة العملية غالباً يكون هناك وتر جزئى أول $ل_1$ ، ووتر جزئى أخير = $ل_2$ والأوتار الأخرى كلها = ل فإن :

العمود الأول = $ع_1 = \frac{ل_1^2}{2\,نق}$

العمود الثانى = $ع_2 = \frac{ل\,(ل + ل_1)}{2\,نق}$

العمود الثالث = $ع_3$ = الأعمدة الأخرى ماعدا الأخير = $\frac{ل^2}{نق}$

العمود الأخير = $ع_{هـ} = ل_2 \,.\, \frac{(ل_2 + ل)}{2\,نق}$

ويمكن تعميم هذا القانون كالتالى :

$$ع = \frac{\text{الوتر الحالى (الوتر الحالى + السابق)}}{2\,نق}$$

مثال — طريقان يتقاطعان فى زاوية قدرها ٣٠′ ٥٢° . أحسب الاحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى دائرى نصف قطره ١٥ جنزيراً ، يصل بين الطريقين بإستعمال الشريط والجنزير فقط . علماً بأن تدريج نقطة التقاطع = ٢٠ جنزيراً (الوتر المستعمل = جنزيراً واحداً) .

طول المماس = ١٥ ظا ١٥′ ٢٦° = ١٥ × ٠,٤٩٣١ = ٧,٣٩٧ جنزيراً

طول المنحنى = ٠,٠١٧٤٥ × ٥٢,٥ × ١٥ = ١٣,٧٤٤ جنزير

تدريج نقطة التماس ا = ٢٠,٠٠ — ٧,٣٩٧ = ١٢,٦٠٣ جنزير

طول الوتر الجزئى الأول = ١٣,٠ — ١٢,٦٠٣ = ٠,٣٩٧ جنزير

$$ع_١ = \frac{ل_١^٢}{٢ س} = \frac{(٠,٣٩٧)^٢}{٢ \times ١٥} \text{ جنزير} = ٠,١٠٥ \text{ متر}$$

$$ع_٢ = \frac{ل_٢ (ل_١ + ل_٢)}{٢ س} = \frac{١,٠ (١,٠ + ٠,٣٩٧)}{٣٠} = ٠,٩٢٨ \text{ متر}$$

$$ع_٣ = ع_٤ \text{ حتى ما قبل الأخير} = \frac{ل^٢}{س} = \frac{١}{١٥} \text{ جنزيراً} = ١,٢٣ \text{ متر}$$

تدريج نهاية المنحنى ب = ١٢,٦٠٣ + ١٣,٧٤٤ = ٢٦,٣٤٧ جنزيراً

طول الوتر الجزئى الأخير = ٠,٣٤٧ جنزيراً

$$\text{طول العمود الأخير} = \frac{٠,٣٤٧ (١ + ٠,٣٤٧)}{٢ \times ١٥} \text{ جنزير}$$

$$= ٠,٣١٢ \text{ متر}$$

ثانيا — طريقة الأحداثيات من أحد المماسين :

فى هذه الطريقة نعين نقط على المنحنى بمعرفة إحداثيها (س) من المماس

باعتبار نقطة التماس نقطة أصل ثم حساب الأحداثى (ص) العمودى على المماس شكل (١٧٠) ، من المثلث ﻫ م و :

$$\text{نق}^2 = (\text{ﻫ و})^2 + (\text{م و})^2 = \text{س}^2 + (\text{نق} - \text{ص})^2$$ ومنها :

$$\boxed{\text{ص} = \text{نق} - \sqrt{(\text{نق}^2 - \text{س}^2)}} \quad \text{.....} (١١٤)$$

وهذه هى العلاقة الصحيحة بين س ، ص .

وقد اتبع بيكر طريقة تقريبية لتبسيط هذه المعادلة كما يلى :

$$\text{ص} = \text{نق} - \text{نق} \sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{نق}^2}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{نق}^2}} = 1 - \frac{\text{س}^2}{2\,\text{نق}^2} - \frac{1}{8}\frac{\text{س}^4}{\text{نق}^4}$$

وبحذف القيم الصغيرة فإن المقدار تحت الجذر .

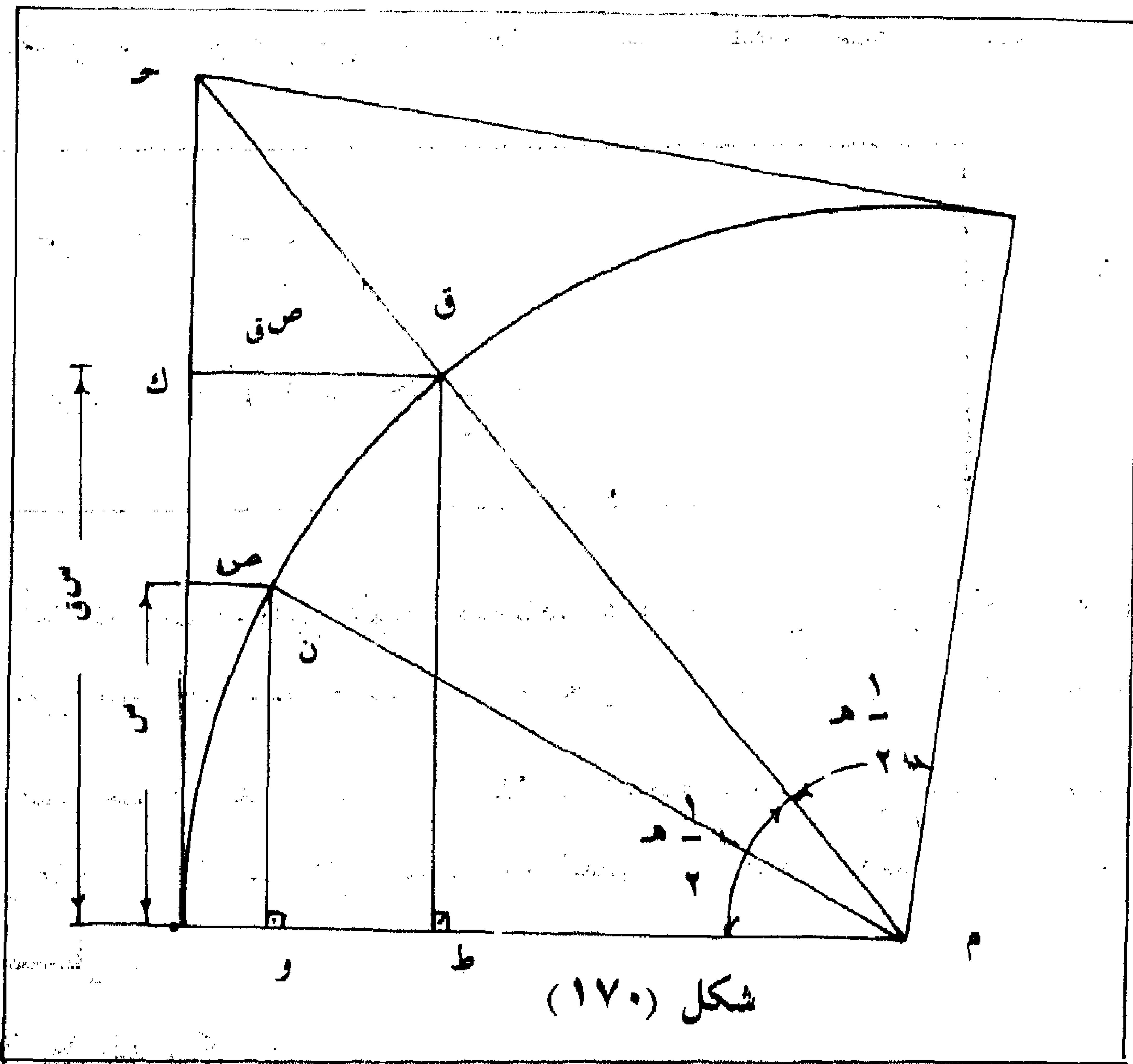
$$= 1 - \frac{\text{س}^2}{2\,\text{نق}}$$ ومنها

$$\therefore \text{ص} = \text{نق} - \text{نق}\left(1 - \frac{\text{س}^2}{2\,\text{نق}^2}\right)$$

ومنها تكون معادلة بيكر التقريبية :

$$\boxed{\text{ص} = \frac{\text{س}^2}{2\,\text{نق}}} \quad \text{......} (١١٥)$$

فإذا كانت الأحداثيات على أبعاد متساوية عن المماس وطول أول أحداثى عمودى = ص ، فإن الثانى = ٢^٢ ص ، والثالث ٣^٢ ص وهكذا ...



شكل (١٧٠)

ويلاحظ أن هذه ليست معادلة دائرة ولكنها معادلة قطع مكافىء ، ويكون الخطأ فى التخطيط بهذه الطريقة مسموحاً به ويمكن إهماله إذا كان نصف القطر كبيراً .

عيوب التخطيط بالتوقيع من أحد المماسين :

١ ــ سواء أكان التخطيط بمعادلة بيكر أو بالطريقة المضبوطة ، فإن طول الأحداثى (ص) يتزايد كلما أقتربنا من القمة (ق) وبذا يزداد احتمال الخطأ فى قياس وتوجيه الأحداثيات .

٢ ــ النقط المعينة لا تكون على أبعاد متساوية من بعض . وإذا كان المنحنى

لا يزيد طوله عن ربع نصف القطر ، فإن المنحنى يخطط من أحد المماسين إلى قمة المنحنى وبالمثل من المماس الآخر . ويلاحظ أنه يجب عدم استخدام قيم للمقدار س أكبر من $\text{س}_{\text{ى}}$ (الأحداثى السينى لنقطة القمة) حيث :

$$\text{س}_{\text{ى}} = \text{ع} \ \text{جا} \ \frac{1}{2} \text{هـ}$$

$$\text{ص}_{\text{ى}} = \text{ع} \left(1 - \text{جتا} \ \frac{1}{2} \text{هـ} \right) \qquad \ldots\ldots (116)$$

أما إذا كان المنحنى طويلاً فتخطط عدة نقط من المماس الأصلى ثم نعين المماس عند آخر نقطة وصلنا إليها ثم نعين عدة نقط أخرى من هذا المماس .

مثال ـــ أوجد الأحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى على مسافات متساوية كل منها = ١٠ متر على المماس مع العلم بأن نصف القطر = ٤٠٠ متر .

الحـــــل :

أولاً بطريقة بيكر :

$$\text{الأحداثى الأول} = \frac{\text{س}^2}{2\,\text{ع}} = \frac{10^2}{2 \times 400} = 0{,}125 \ \text{متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثانى} = 2^2 \times 0{,}125 = 0{,}500 \ \text{متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثالث} = 3^2 \times 0{,}125 = 1{,}125 \ \text{متراً}$$

ثانياً ـــ الطريقة المضبوطة :

$$\text{الأحداثى الأول} = 400 - \sqrt{(400)^2 - (10)^2} = 0{,}125 \ \text{متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثانى} = 400 - \sqrt{(400)^2 - (20)^2} = 0{,}500 \ \text{متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثالث} = 400 - \sqrt{(400)^2 - (30)^2} = 1{,}125 \ \text{متراً}$$

وبذا فى المسافات القصيرة أو المتوسطة لا نجد إلا فرقا ضئيلاً بين نتائج الطريقتين أما فى المسافات الكبيرة مثل ١٠٠ متر فتجد :

$$\text{الأحداثى (بيكر)} = \frac{١٠٠^{٢}}{٨٠٠} = ١٢,٥٠ \text{ متر}$$

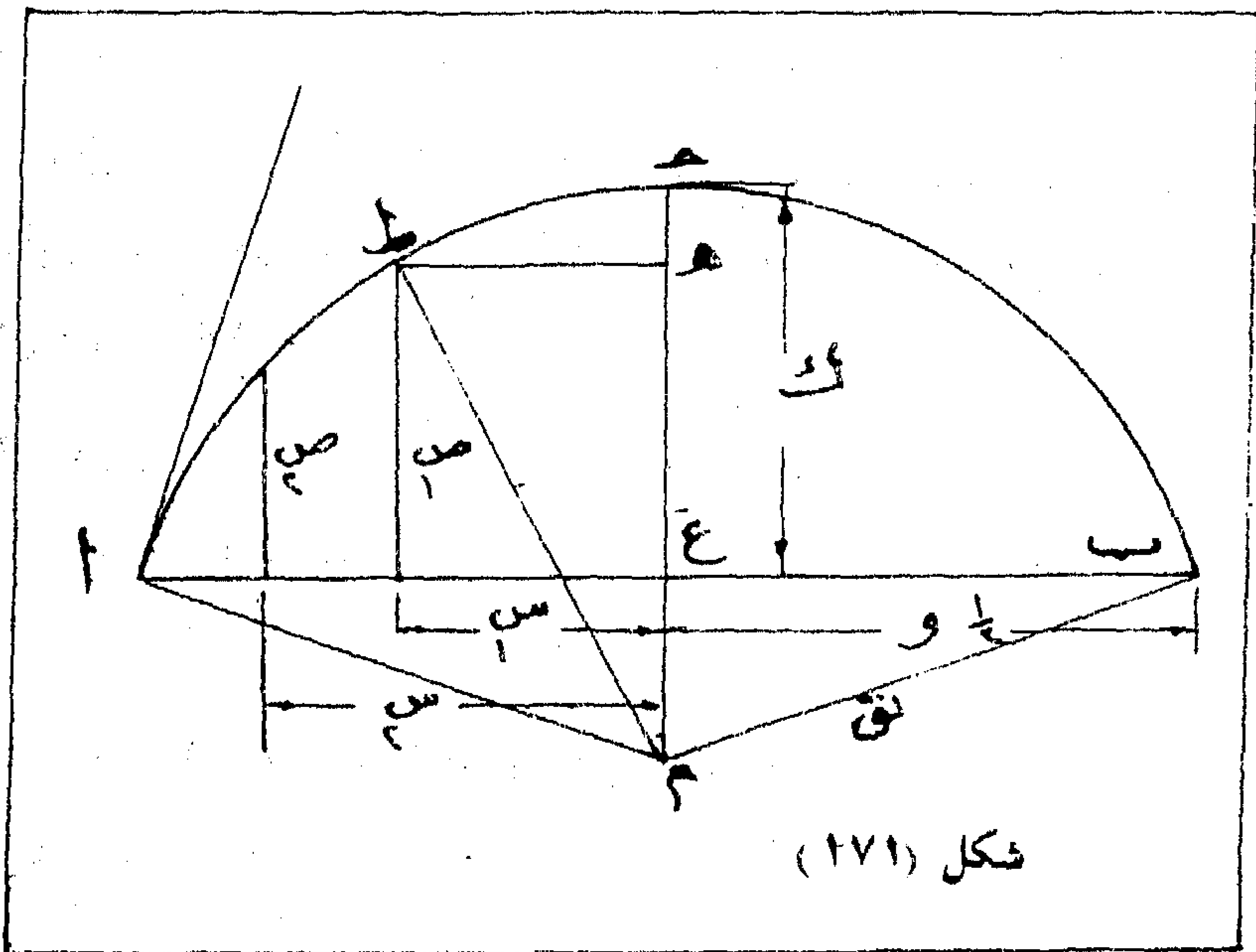
$$\text{والأحداثى بالطريقة المضبوطة} = ٤٠ - \sqrt{(٤٠٠)^{٢} - (١٠٠)^{٢}} = ١٢,٧٠ \text{ متر}$$

وبذا فإننا فى المسافات الكبيرة يحسن توقيع الجزء المتوسط من المنحنى بمماس آخر .

ثالثاً — طريقة الأحداثيات من الوتر الكلى للمنحنى :

المطلوب إيجاد طول الأحداثيات $ص_{١}$ ، $ص_{٢}$ ، ... من نقط على الوتر الكلى ، وتبعد بمسافات $س_{١}$ ، $س_{٢}$ من نقطة منتصف الوتر .

فى شكل (١٧١) :



شكل (١٧١)

طول الوتر الكلى (و) = ٢ نق جا $\frac{١}{٢}$ هـ .

فى المثلث هـ ط م :

$(م ط)^٢ = (هـ ط)^٢ + (هـ م)^٢$

$نق^٢ = س_١^٢ + (ص_١ + ع م)^٢$

$(نق^٢ - س_١^٢)^{\frac{١}{٢}} = ص_١ + نق - ك$

$ص_١ = ك - نق + (نق^٢ - س_١^٢)^{\frac{١}{٢}}$

حيث $ك = نق - [نق^٢ - (نصف الوتر)^٢]^{\frac{١}{٢}}$

ومن المعادلتين السابقتين تصبح المعادلة العامة لأى نقطة :

$$ص = \sqrt{نق^٢ - س^٢} - \sqrt{نق^٢ - \frac{و^٢}{٤}} \quad \ldots\ldots (١١٧)$$

مثال : أوجد الأحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى نصف قطره ٤٩٥ متراً وطول الوتر الكلى ٢٠٠ متر وذلك على مسافات متساوية من منتصف الوتر كل منها = ٢٥ متراً .

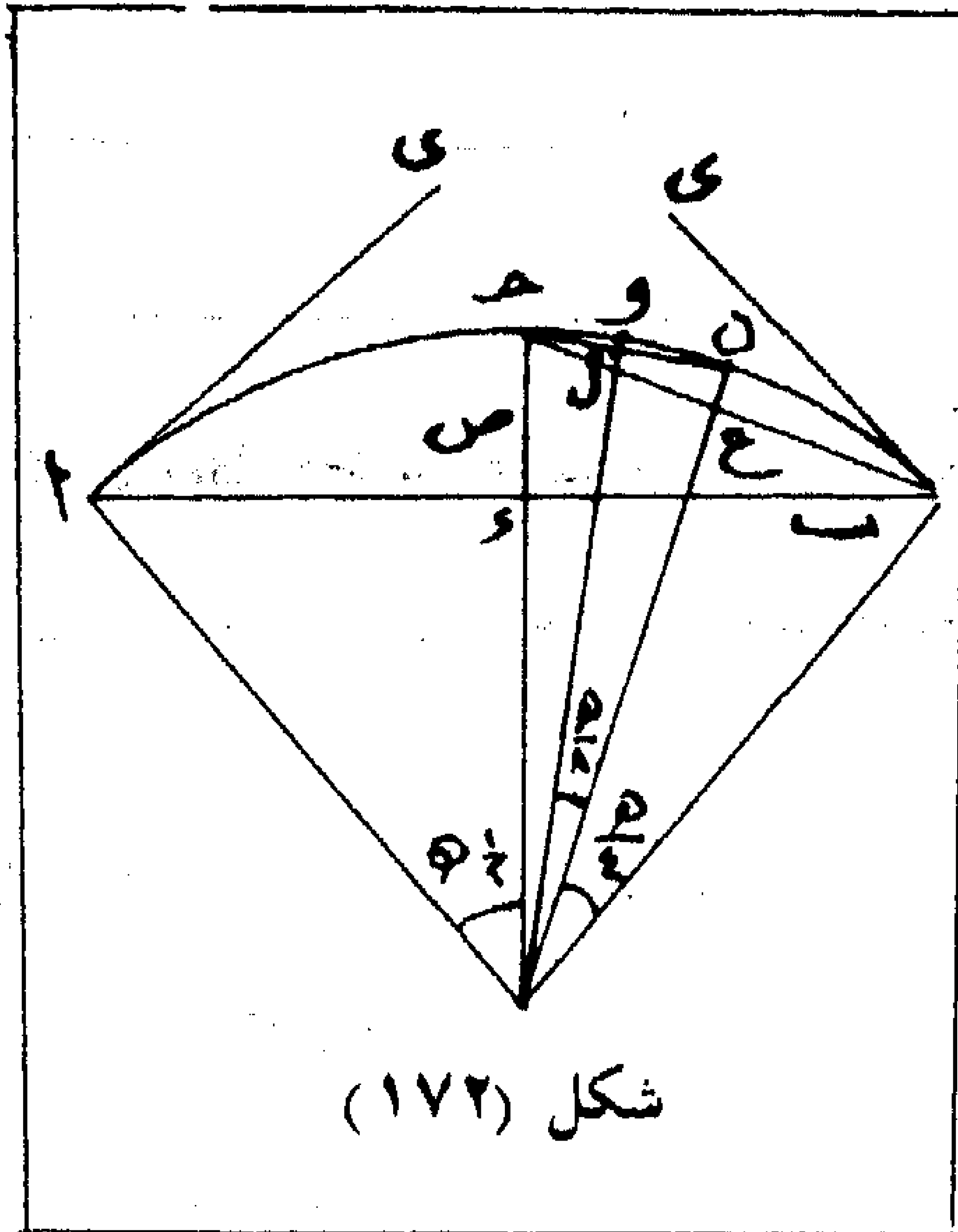
الحـــل :

بأخذ المسافات صفر ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ متراً فإن ص تكون ١٠,٠٠ ، ٩,٣٧ ، ٧,٤٧ ، ٤,٢٩ متراً على التوالى .

رابعاً ــ طريقة تنصيف الأقواس على التعاقب :

فى شكل (١٧٢) :

١ ــ ا ى ، ب ى ، هما المماسان . ننصف الوتر ا ب فى ء .



شكل (١٧٢)

٢ ــ نوقع أولاً قمة المنحنى بتعيين الطول ص من المعادلة :

ص = ىٓ (١ ــ جتا $\frac{١}{٢}$ هـ) .

٣ ــ نعين نقط أخرى على المنحنى بأن ننصف الوتر حـ ب في ع ، ونقيس عليه العمود ه ع = ىٓ (١ ــ جتا $\frac{١}{٤}$ هـ) .

٤ ــ نكرر ذلك مع الوتر ه حـ لتعيين (و) بالعمود و ل من منتصفه حيث و ل = (١ ــ جتا $\frac{هـ}{٨}$) . وهكذا حتى نحصل على أى عدد نريده لتوقيع المنحنى .

٥ ــ نكرر ذلك في نصف المنحنى الآخر . ويمكن إيجاد طول العمود بالمعادلة الآتية وهى لا تعطى نتائج دقيقة عندما يكون الوتر كبيراً بالنسبة لنصف القطر .

$$\text{العمود من منتصف الوتر} = \frac{(\text{الوتر})^2}{8\ \text{نق}}$$ ...... (118)

خامساً – طريقة تعيين نقط معلوم بعدها من أول المنحنى :

معنى هذا تعيين أحداثيات أى نقطة إذا علم موقعها أو تدريجها على المنحنى .

نفرض فى شكل (١٧٣) أننا نريد تعيين ا ح ، ء ح إحداثى النقطة ء إذا علمت المسافة ا ء على المنحنى .

$$\text{ه}_1 = \frac{\text{القوس ا ء} \times 180^\circ}{\text{ط نق}}$$

$$\text{ھ} = \frac{1}{2}\,\text{ه} - \text{ه}_1$$

$$\text{ا ح} = \text{ا ع} - \text{ع ح} = \text{نق}\ (\text{جا}\ \frac{1}{2}\,\text{ه} - \text{جا ھ})$$

$$\text{ح ء} = \text{ع ك} - \text{ط ك} = \text{نق}\ (1 - \text{جتا}\ \frac{1}{2}\,\text{ه}) - \text{نق}\ (1 - \text{جتا ھ})$$

$$= \text{نق}\ (\text{جتا ھ} - \text{جتا}\ \frac{1}{2}\,\text{ه})$$

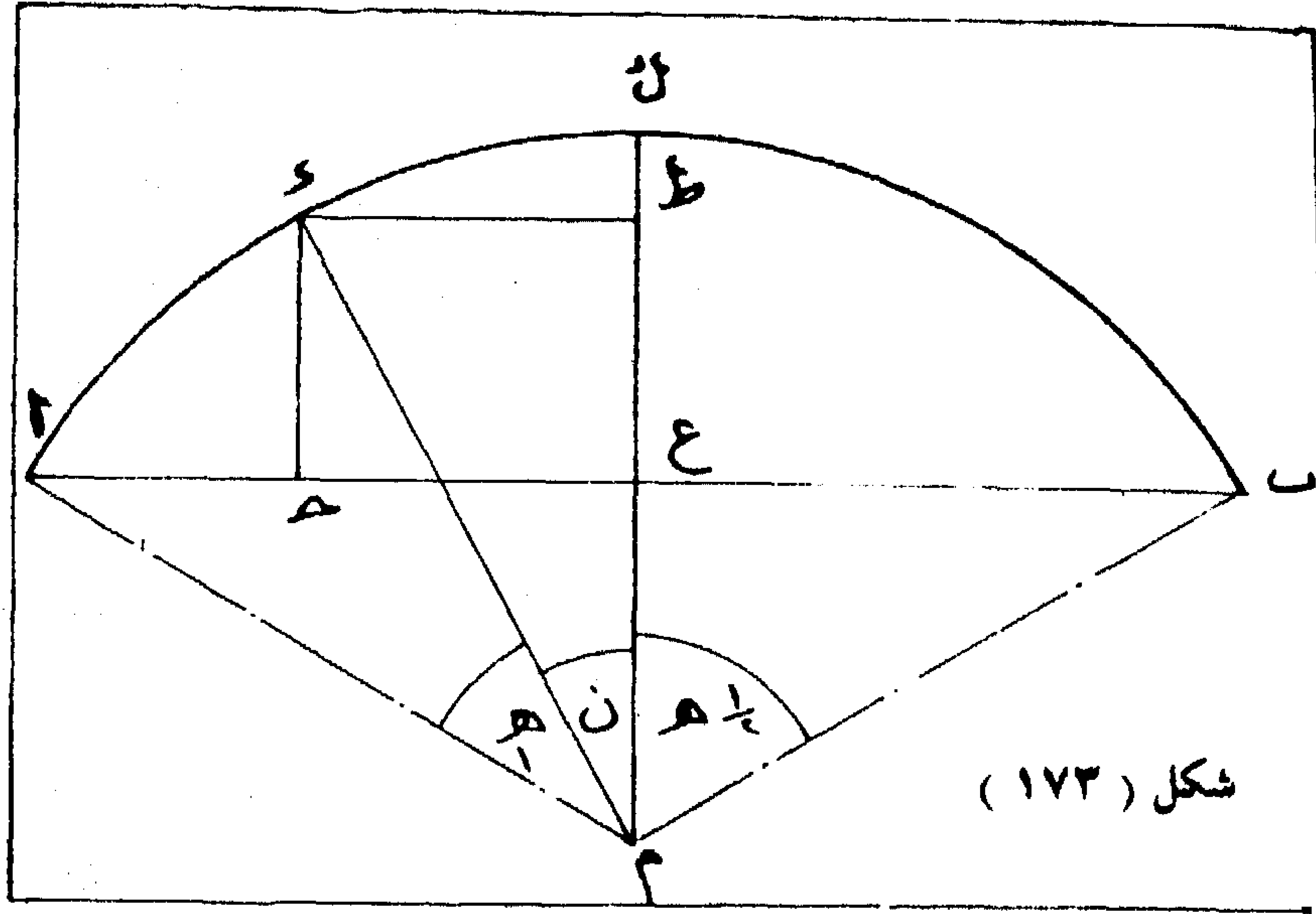
الأحداثى الأفقى لأى نقطة على المنحنى من نقطة الابتداء

$$= \text{نق}\ (\text{جا}\ \frac{1}{2}\,\text{ه} - \text{جا ھ})$$

(119)

الأحداثى الرأسى بالنسبة لأى نقطة على المنحنى

$$= \text{نق}\ (\text{جتا ھ} - \text{جتا}\ \frac{1}{2}\,\text{ه})$$



شكل (١٧٣)

حيث ن هى الزاوية المركزية بين قمة المنحنى والنقطة المطلوبة على المنحنى .

العقبات عند توقيع المنحنيات

غالباً ما يعترضنا أثناء تخطيط وتوقيع المنحنيات بعض الصعوبات تتمثل أساساً فى عدم إمكانية تنفيذ التخطيط للمنحنى بالطرق المعروفة ــ نظراً لوجود عوائق ــ ولذا فلابد من البحث عن طرق بديلة للتغلب على هذه الصعوبات ــ وفيما يلى أهم حالات العقبات التى تعترض توقيع وتخطيط المنحنيات وكيفية التغلب عليها :

الحالة الأولى ــ وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطة تقاطع المماسين واحتلالها :

تعتبر نقطة تقاطع المماسين من أهم النقط اللازمة لتخطيط المنحنى حيث يقاس منها زاوية تقاطع المماسين عن بعضهما (هـ) وكذلك نبدأ منها قياس

المماس الجزئى لتعيين أول ونهاية المنحنى (ء) وتقابلنا هذه الحالة عندما تقع نقطة التقاطع داخل منخفض أو فى منطقة مائية أو فى مبانى أو ماشابه .

ا ــ عند استعمال جهاز التيودوليت :

فى شكل (١٧٤) نختار حـ ء فى أى وضع مناسب ويقطع اتجاهى المماسين فى حـ ، ء ثم تقاس بالتيودوليت الزاويتان س ، ص .

الزاوية هـ = الزاوية س + الزاوية ص

نحسب طول المماس ف = نق ظا $\frac{١}{٢}$ هـ

يقاس حـ ء من الطبيعة ونحل المثلث حـ ب ء لنحصل على ب حـ ، ب ء من العلاقة :

$$\frac{حـ\ ب}{جا\ ص} = \frac{حـ\ ء}{جا\ هـ} = \frac{ء\ ب}{جا\ س}$$

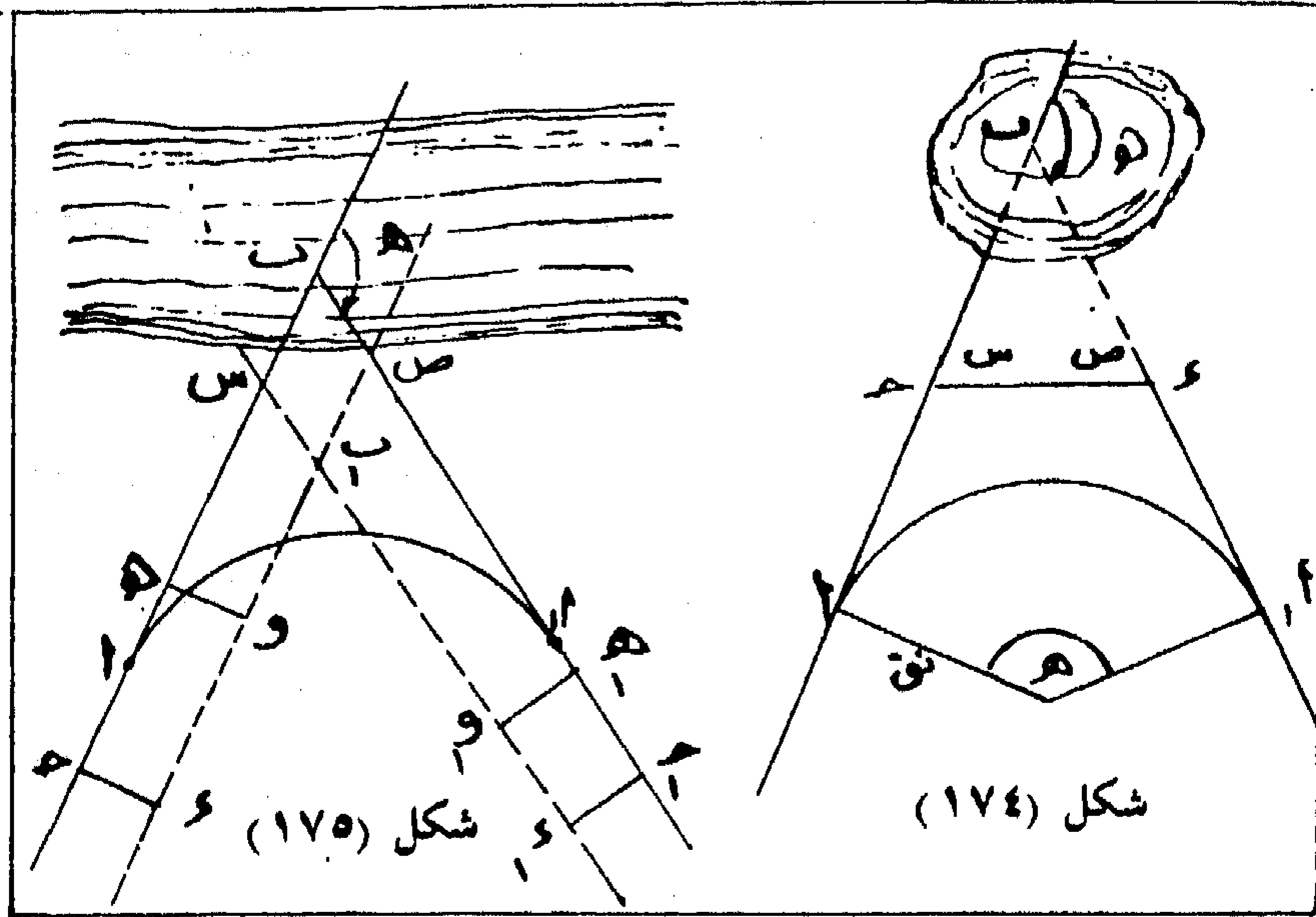
ولتعيين نقطة التماس الأولى (ا) نقيس الطول حـ ا من حـ = ب ا ـ ب حـ كما حسب وبالمثل بالنسبة إلى $ا_١$ ، ثم نخطط المنحنى بالطرق المعروفة .

ويحدث كثيراً أنه لا يمكن اختيار خط مثل ء حـ ويكون فى وضع مناسب ، ولذلك فإنه من الضرورى أن نشكل ترافرس بين ء ، حـ . ومن ثم يمكن إيجاد الزاويتين حـ ء $ا_١$ ، ا حـ ء والمسافة ء حـ من الحساب .

مثال ــ فى شكل (١٧٤) قيست الأرصاد الآتية من الطبيعة :

س = ٠٠َ ١٨° ، ء حـ = ٣١٢,٢ متراً ، ص = ١٢َ ٣٢°

المطلوب إيجاد الزاوية هـ ، والمسافة ا حـ علماً بأن نصف قطر المنحنى ٦٠٠ م .


شكل (١٧٤)   شكل (١٧٥)

الحـــل :

الزاوية هـ = س + ص = ٥٠° ١٢′

بحل المثلث ب ء حـ : ء حـ = $\frac{\text{ء حـ جا ص}}{\text{جا هـ}}$

$= \frac{٣١٢,٢ \times ٠,٥٣٢٨٨}{٠,٧٦٨٢٨} = ٢١٦,٥٤$ متراً

ب ء = $\frac{\text{ء حـ جا ص}}{\text{جا هـ}} = \frac{٣١٢,٢ \times ٠,٢٠٩٠٢}{٠,٧٦٨٢٨} = ١٢٥,٥٧$ متراً

طول المماس ا ب = ٦٠٠ ظا ٢٥° ٠٦′

= ٦٠٠ × ٠,٤٦٨٤ = ٢٨١,٠٤ متراً

∴ طول ا حـ = ٢٨١,٠٤ ــ ٢١٦,٥٤ = ٦٤,٥٠ متراً

« $ا_١$ ء = ٢٨١,٠٤ ــ ١٢٥,٥٧ = ١٥٥,٤٧ متراً

ب ــ عند استعمال القياسات الطولية

تقام الأعمدة حـ ء١، هـ و١، حـ١ ء١، هـ١ و١ شكل (١٧٥) من نقط مناسبة بحيث تكون هذه الأعمدة متساوية الطول ومناسبة بحيث تتقابل الخطوط ء و، ء١ و١ فى نقطة مثل ب١ يمكن الوصول إليها وبحيث يكون تقابلهما مع المماسين الأصليين فى نقطتين مثل س ، ص من الممكن الوصول إليهما أيضاً . ب١ ء ، ب١ ء١ يوازيان المماسين ب ا١ ، ب حـ . وعلى ذلك فالزاوية بينهما = زاوية تقاطع المنحنى .

وبقياس الزاوية س ب١ ء١ (بواسطة الجنزير والشريط) يمكن تعيين (هـ١) زاوية تقاطع المنحنى .

ومن الشكل لدينا أيضاً .

ب١ س = ب١ ص = ب س = ب ص

وبقياس ب١ ص يمكن معرفة ب س ، ب ص .

∴ ا س = ا١ ص = طول المماس ــ ب س = نق ظا $\frac{هـ}{٢}$ ــ ب١ س

وحيث أن نقطتى س ، ص موجودتان على الطبيعة فإنه يمكن تعيين نقطتى ا ، ا١ (بداية ونهاية المنحنى) وبذا يمكن تخطيط المنحنى بإحدى طرق التخطيط المعروفة .

الحالة الثانية ــ وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطة التماس الأولى :

١ ــ يجب أن يوجه عمل الغيط أولاً إلى إيجاد تدريج نقطة المماس الأولى (ا) ومن ثم طول الوتر الجزئى الأول والأخير ، ولذلك ننشىء المثلث س و ل شكل (١٧٦) على المماس الجزئى الأول ا حـ ، ونقيس الطولين ل و ، س و والزاوية س و ل .

٢ ــ بحل هذا المثلث نحصل على الطول س ل ، وحيث أن تدريج الطريق مستمر من بدايته ، لذلك يمكن معرفة تدريج نقطة ل . وبإضافة الطول ل س

المحسوب من المثلث وكذلك الطول س حـ المقاس من الطبيعة نحصل على تدريج نقطة تقاطع المماسين (حـ) وبمعرفة طول المماس نعين تدريج نقطة ا (بداية المنحنى) وبإضافة طول المنحنى إلى تدريج (ا) نحصل على تدريج نقطة ب (نهاية المنحنى) .

٣ ــ تدريج ا = تدريج ل (بالقياس من بداية الطريق)
+ ل س (المحسوب من المثلث ل و س)
+ حـ س (مقاس من الطبيعة)
ــ حـ ا (طول المماس ىن ظا $\frac{هـ}{٢}$)

تدريج ب = تدريج ا + طول القوس ق

٤ ــ يمكن تخطيط المنحنى إبتداء من نقطة التماس الثانية (ب) وذلك بطريقة الانحراف بعد تعيين المقادير اللازمة لذلك وهى طول الوتر الجزئى الأول والوتر الجزئى الأخير وزوايا إنحرافهما وكذلك أوتار القياس وإنحرافاتها .

الحالة الثالثة ــ وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطتى التماس (بداية ونهاية المنحنى)

فى شكل (١٧٧) نوجد طول ا س وتدريج نقطة ا كما فى الحالة السابقة .

٢ ــ نقيم عموداً على المماس من س وعلى هذا العمود نأخذ المسافة س ء مساوية ىن ــ $\sqrt{ىن^{٢} ــ (ا س)^{٢}}$ فتكون (ء) هى إحدى نقط المنحنى .

٣ ــ ننقل التيودوليت إلى نقطة ء حتى يمكن تكمله توقيع المنحنى .

٤ ــ نحسب طول جزء المنحنى ا ء من الزاوية التى تحصرها عند المركز وهى جا$^{-١}$ $\frac{ا س}{ىن}$ وبذا فإن تدريج ء = تدريج ا + طول القوس ا ء .

٥ ـ نحسب زوايا الانحراف لتوقيع المنحنى من المماس ﻫ ص وترتيبها فى جدول . ولتوقيع ط أول نقطة على المنحنى وعلى مسافة ل ١ من ﻫ (الوتر الجزئى بالنسبة للنقطة ﻫ) نوجه المنظار أولاً إلى س ثم ندير التيودوليت بزاوية مقدارها س ﻫ ط .

الزاوية س ﻫ ط = ٩٠° + جا ^(-١) $\frac{س}{ن}$ + زاوية انحراف الوتر الجزئى الأول .

وهناك طريقة أخرى وهى تتلخص فيما يلى :

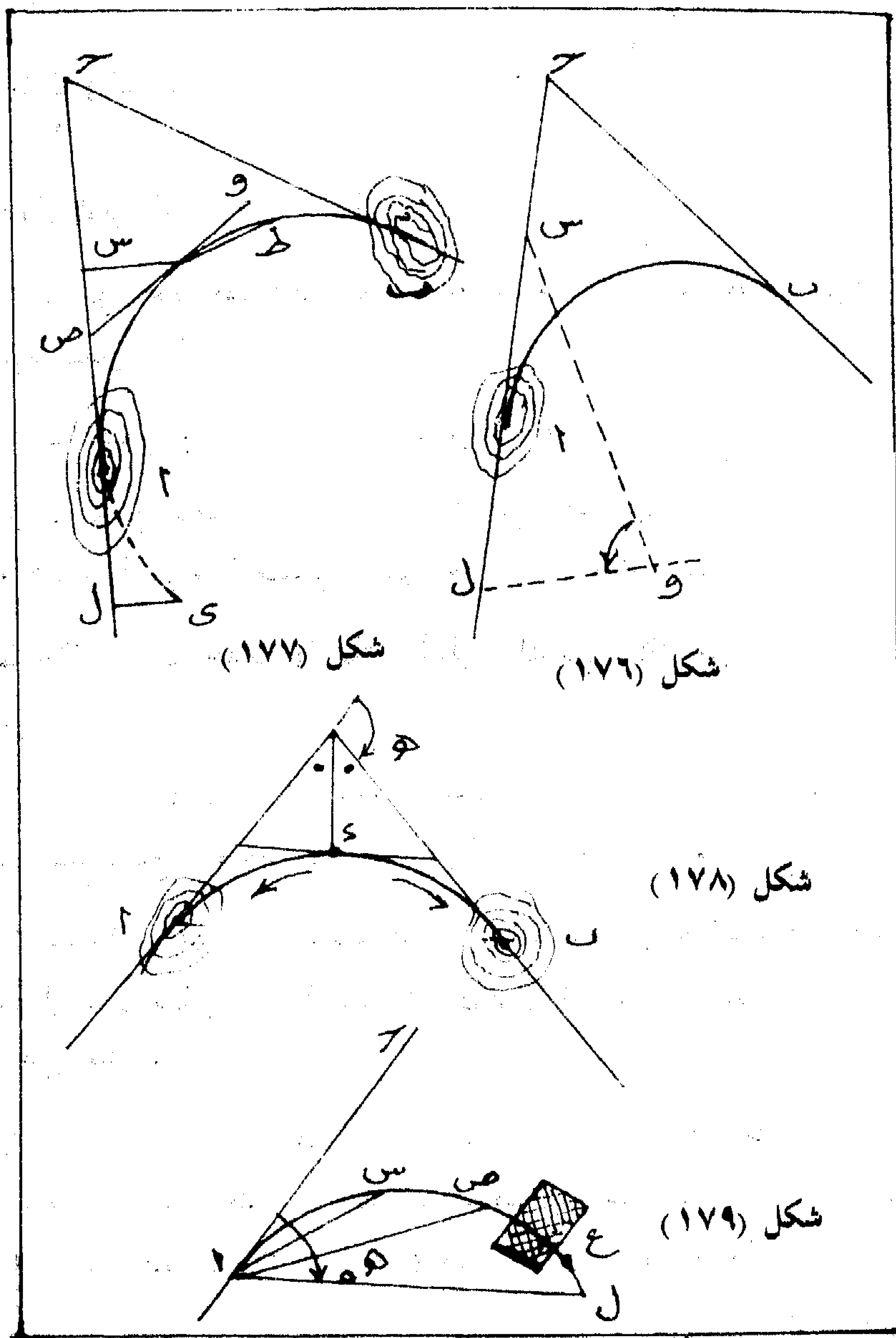
١ ـ فى شكل (١٧٨) بعد حساب تدريج ا نضيف إليه المقدار ($\frac{ن}{٢}$) لنحصل على تدريج قمة المنحنى ولتعيين موقعها فى الطبيعة ننصف الزاوية الداخلية بين المماسين وعلى هذا المنصف تؤخذ المسافة ﺣ ى مساوية للسهم الخارجى ـ ن (قا $\frac{ﻫ}{٢}$ ـ ١) فتحدد نقطة ى (قمة المنحنى) .

٢ ـ ننتقل بالتيودوليت إلى نقطة ى ، ونوجه إلى نقطة التقاطع ﺣ ، ونقيم عموداً عليه فنحصل على المماس للمنحنى عند القمة ونحسب زوايا الانحراف لتوقيع المنحنى من المماس عند نقطة القمة بالنسبة لنصفيه الأيمن والأيسر .

الحالة الرابعة ـ عندما يعترض المنحنى عائق واقع عليه :

فى هذه الحالة من الضرورى ترك توقيع الجزء المشتمل على هذا العائق عند الأنشاء . ولايجاد مواضع النقط على المنحنى بعد العائق نتبع ما يلى :

١ ـ بعد توقيع النقط س ، ص شكل (١٧٩) بالطريقة العادية (وهما كل النقط حتى ما قبل العائق) ، نوجد من جداول زوايا الانحرافات من الغيط أول خط يتفادى العائق وليكن الخط ا ل وزاوية إنحرافه ﻫ ٥ . والمفروض أن نقطة ع بعد العائق ولا يمكن رؤيتها من ا .



شكل (١٧٧)

شكل (١٧٦)

شكل (١٧٨)

شكل (١٧٩)

٢ ـــ نحسب طول ا ل من المعادلة :

$$\text{جا } \frac{1}{2} \text{ (الزاوية المحصورة بالوتر عند المركز) } = \frac{\frac{1}{2} \text{ الوتر}}{\text{س}}$$

طول الوتر ا ل = ٢ س جا $ه_{٥}$.

٣ ـــ على إتجاه خط النظر الموجه بانحراف $ه_{٥}$ نقيس مسافة تساوى ا ل المحسوبة تتعين ل .

٤ ـــ تكمل توقيع باقى المنحنى بالطريقة العادية .

٥ ـــ يمكن توقيع نقطة مثل ع إذا نقل الجهاز إلى ل ، وذلك بزوايا الانحراف من ل ، وإلا فيمكن تركها حتى يزال العائق عند التنفيذ .

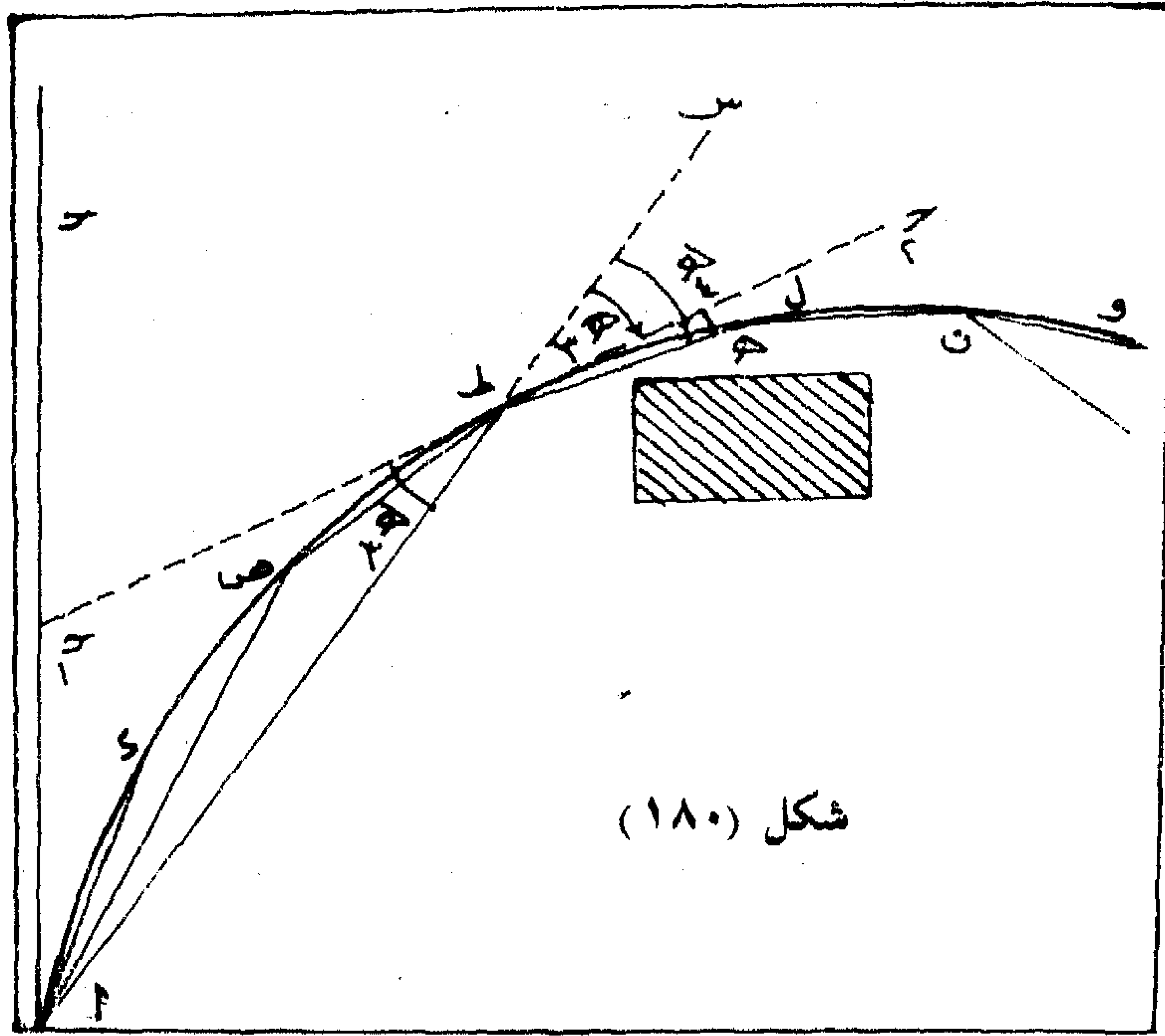
الحالة الخامسة ـــ عندما لا يمكن تخطيط المنحنى كله من نقطة التماس الأولى :

١ ـــ فى شكل (١٨٠) وقعت النقط حتى نقطة ط بزوايا الأنحراف ، ولكن عند توقيع ل وجد أن خط النظر ا ل قد اعترضه عائق .

٢ ـــ ننقل الجهاز إلى النقطة ط (آخر نقطة سبق تعيينها) فإذا جعلنا **التيودوليت موجهاً إلى ا . ثم ندير التيودوليت $ه_{٣}$ فيصبح خط النظر مماساً للمنحنى عند ط .**

٣ ـــ بعد ذلك ندير المنظار ١٨٠° حول محوره الأفقى ثم نجعله يضيف ه إلى الزاوية السابقة فيكون موجهاً نحو النقطة ك ونقيس فى إتجاه خط النظر مسافة الوتر المعلوم (٢٠ متر مثلاً) فنحصل على موقع نقطة ل .

٤ ـــ نستمر فى توقيع المنحنى كالمعتاد من نقطة ط ، وإذا لم يمكن تكملة المنحنى ننتقل إلى ه .


شكل (١٨٠)

٥ ـــ نرصد أى نقطة على المنحنى أو آخر نقطة احتلت بالجهاز مع ضبط الورنية على زاوية انحراف هذه النقطة فمثلاً إذا كنا سنوجه إلى ط فإن زاوية الانحراف = هـ ٣ .

٦ ـــ نقلب المنظار ونحرك الورنية على المقياس حتى تضيف هـ ونستمر .

٧ ـــ تمتاز هذه الطريقة بأن الزوايا المحسوبة للانحراف من نقطة التماس الأولى تستعمل فى توقيع كل النقط مهما كان موقع الجهاز ، وبذا توفر علينا العمل الحسابى . وعند تكملة العمل برصد نقطة التماس الثانية من آخر موقع بالجهاز فإن الدائرة الأفقية للجهاز يجب أن تقرأ زاوية مقدارها $\frac{هـ}{٢}$.

تطبيقات على المنحنيات البسيطة

أولاً ــ إيجاد نصف قطر منحنى بسيط يمس ثلاثة خطوط معلومة :

١ ــ نفرض فى شكل (١٨١) أن $أ_١$ س ، ص ع ، س $أ_٢$ ثلاثة خطوط مستقيمة ، يراد إيصالها بمنحنى بسيط يمس الثلاث مستقيمات فى ثلاث نقط مثل $أ_١$ ، ل ، $أ_٢$ على الترتيب .

٢ ــ الخط ص ع = $ف_١ + ف_٢$

$ع\ ص = \overline{س}$ ، $س\ ع = \overline{ص}$ ، $س\ ص = \overline{ع}$

$\therefore \overline{س} = ف_١ + ف_٢$

وحيث أن المماسين الجزئيين $س\ أ_١$ ، $س\ أ_٢$ متساويان .

$\therefore \overline{ع} + ف_١ = \overline{ص} + ف_٢$

ولكن $ں = س\ أ_١ \ ظتا \frac{هـ}{٢}$

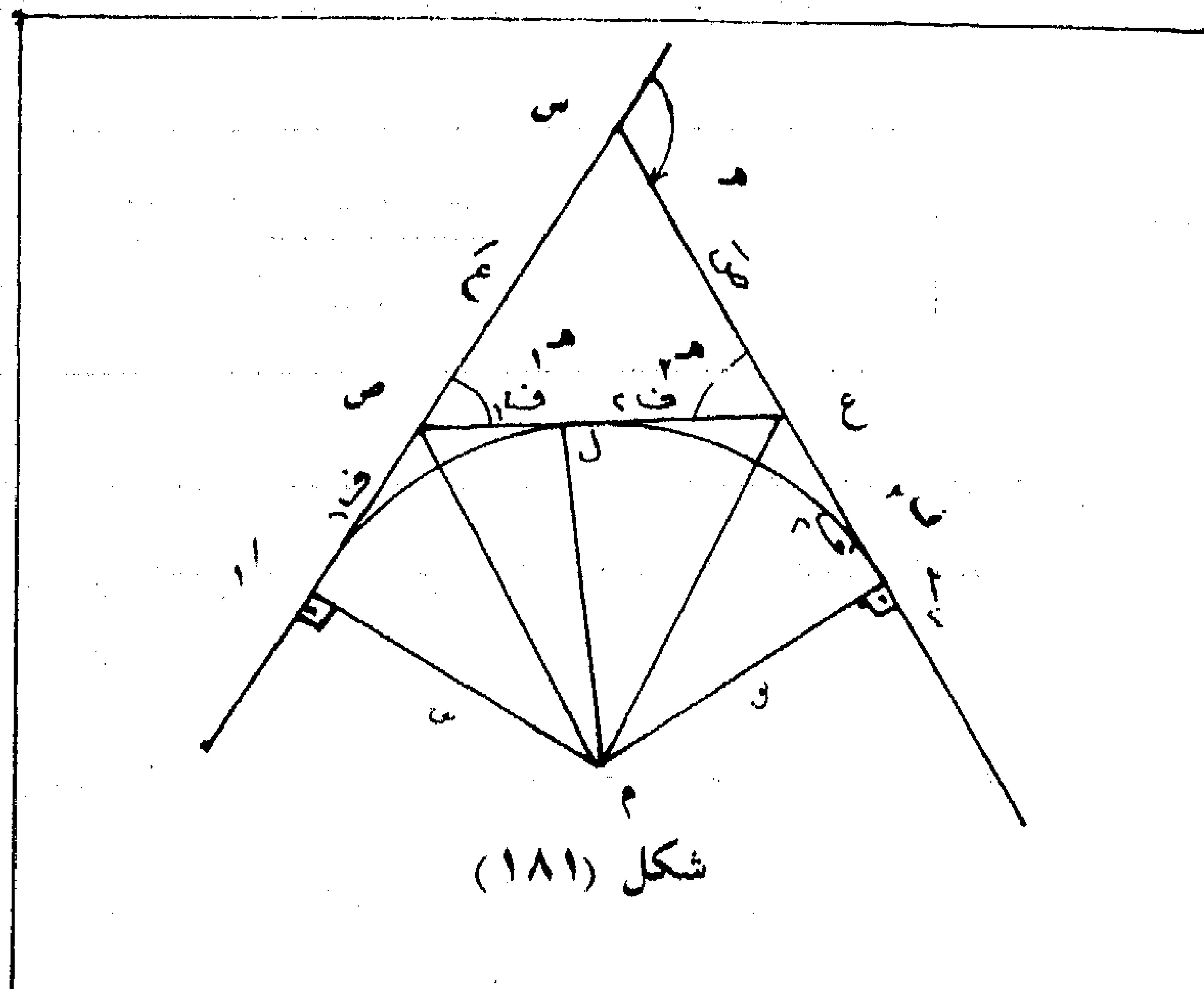
$\therefore ں = (\overline{ع} + ف_١) \ ظتا \frac{هـ}{٢} = (\overline{ص} + ف_٢) \ ظتا \frac{هـ}{٢}$

$\therefore ٢ ں = ظتا \frac{هـ}{٢} (ف_١ + ف_٢ + \overline{ص} + \overline{ع})$

$= ظتا \frac{هـ}{٢} (س + \overline{ص} + \overline{ع})$

ومنها $ں = \frac{١}{٢} (\overline{س} + \overline{ص} + \overline{ع}) \ ظتا \frac{هـ}{٢}$

$$ں = ح \ ظتا \frac{هـ}{٢} \qquad \text{......} (١٢٠)$$



شكل (١٨١)

حيث ح = نصف محيط المثلث س ص ع

وهناك حل آخر بمعلومية الزاويتين $هـ_١$ ، $هـ_٢$.

من الشكل ص ل = $ف_١$ = نق ظا $\frac{هـ_١}{٢}$

ل ع = $ف_٢$ = نق ظا $\frac{هـ_٢}{٢}$

ص ع = $ف_١$ + $ف_٢$ = نق (ظا $\frac{هـ_١}{٢}$ + ظا $\frac{هـ_٢}{٢}$)

ومنهـــا :

$$نق = \frac{\overline{س}}{ظا \frac{هـ_١}{٢} + ظا \frac{هـ_٢}{٢}} \quad ......(١٢١)$$

ويمكن كذلك اثبات أن نصف القطر يكون مساويا .

نق = مساحة المثلث س ص ع / ح ـــ س

(١٢٢) ......

وغالباً ما تكون النقط س ، ص ، ع معطاه باحداثياتها ومن ثم يمكن الحصول على جميع المقادير التى يمكن منها ايجاد نصف القطر بأحد الحلول الثلاثة المذكورة .

مثال ــ ثلاث نقط ا ، ب ، حـ أحداثياتها على التوالى هى :

النقطة	الأحداثى الأفقى	الأحداثى الرأسى
ا	+ ١٢٦٣,١٣	+ ١٥٧٣,١٢
ب	+ ٩٢٣,٤٧	+ ٥٨٧,٤٥
حـ	+ ١٦٣٩,٢٨	+ ٧٢٢,٨٧

وصل الخطان ا ب ، ا حـ ومدا على استقامتهما والمطلوب تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمس المستقيم ب حـ وامتداد كل من ا حـ ، ا ب .

الحـــــل :

انحراف ا ب = ظا^-١ (١٢٦٣,١٣ ــ ٩٢٣,٤٧) / (١٥٧٣,١٢ ــ ٥٨٧,٤٥)

= حـ ٥٠" ٠٠' ٩°١٩ غ

= ٥٠" ٠٠' ١٩٩°

طول ا ب = ١٠٤٢,٥٥

وبالمثل انحراف ا حـ = حـ ٥٢″ ٥١′ ٢٣° ق

= ٠٨″ ٠٨′ ١٥٦°

طول ا حـ = ٩٢٩,٧٤

انحراف ب حـ = س ١٤″ ١٧′ ٧٩° ق

= ١٤″ ١٧′ ٧٩°

طول ب حـ = ٧٢٨,٥١

زاوية التقاطع للمنحنى المطلوب هـ

= ١٨٠° — (٥٠″ ٠٠′ ١٩° + ٥٢″ ٥١′ ٢٣°)

= ١٨″ ٠٧′ ١٣٧°

لايجاد نصف القطر نطبق العلاقة

نق = $\frac{١}{٢}$ ($\bar{ا}$ + $\bar{ب}$ + $\bar{حـ}$) ظتا $\frac{هـ}{٢}$

نق = $\frac{١}{٢}$ (١٠٤٢,٥٥ + ٧٢٨,٥١ + ٩٢٩,٧٤) ظتا ٣٩″ ٣٣′ ٦٨°

نق = ٥٣٠,٢

وبتطبيق العلاقة :

نق = $\frac{\bar{ا}}{ظا \frac{هـ_١}{٢} + ظا \frac{هـ_٢}{٢}}$

حيث هـ$_١$ ، هـ$_٢$ الزاوية عند ب ، حـ على الترتيب .

زاوية $\hat{ب}$ = ١٤″ ١٧′ ٧٩° — ٥٠″ ٠٠′ ١٩° = ٢٤″ ١٦′ ٦٠°

زاوية $\hat{حـ}$ = ٠٨″ ٠٨′ ٣٣٦° - ١٤″ ١٧′ ٢٥٩° = ٥٤″ ٥٠′ ٧٦°

وللتحقيق زاوية ب + زاوية حـ = ١٨″ ٠٧′ ١٣٧° = هـ

$$ س = \frac{٧٢٨,٥١}{ظا ١٢″ ٨′ ٣٠° + ظا ٢٧″ ٢٥′ ٣٨°} $$

$$ = ٥٣٠,٢٠ $$

وبتطبيق العلاقة :

$$ س = \frac{\text{مساحة المثلث ا ب حـ}}{ح - ا} $$

$$ س = \frac{\sqrt{ح (ح - ا) (ح - ب) (ح - حـ)}}{ح - ا} $$

$$ = \frac{\sqrt{١٣٥٠,٤ (١٣٥٠,٤ - ٧٢٨,٥١) (١٣٥٠,٤ - ٩٢٩,٧٤)}}{١٣٥٠,٤ - ٧٢١,٥١} $$

$$ \sqrt{(١٣٥٠,٤ - ١٠٤٢,٥٤)} = ٥٣٠,٢٠ $$

ثانياً — ايجاد نصف قطر منحنى بسيط يمر بثلاث نقط معلومة :

نفرض فى شكل (١٨٢) أن ا ، ب ، حـ ثلاث نقط ليست على استقامة واحدة ويراد تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر بالنقط الثلاثة .

الزاوية الخارجية حـ م ا = ٢ ب

الزاوية س م حـ = ١٨٠° — ب

الوتر ا حـ = ٢ س جا (١٨٠° — ب)

$$ \therefore \frac{ا حـ}{جا ب} = ٢ س $$

شكل (١٨٢)

وبتطبيق قاعدة الجيوب فى ا ب حـ .

$$\frac{\text{ا ب}}{\text{جا حـ}} = \frac{\text{ب حـ}}{\text{جا ا}} = \frac{\text{ا حـ}}{\text{جا ب}} = \text{٢ س}$$

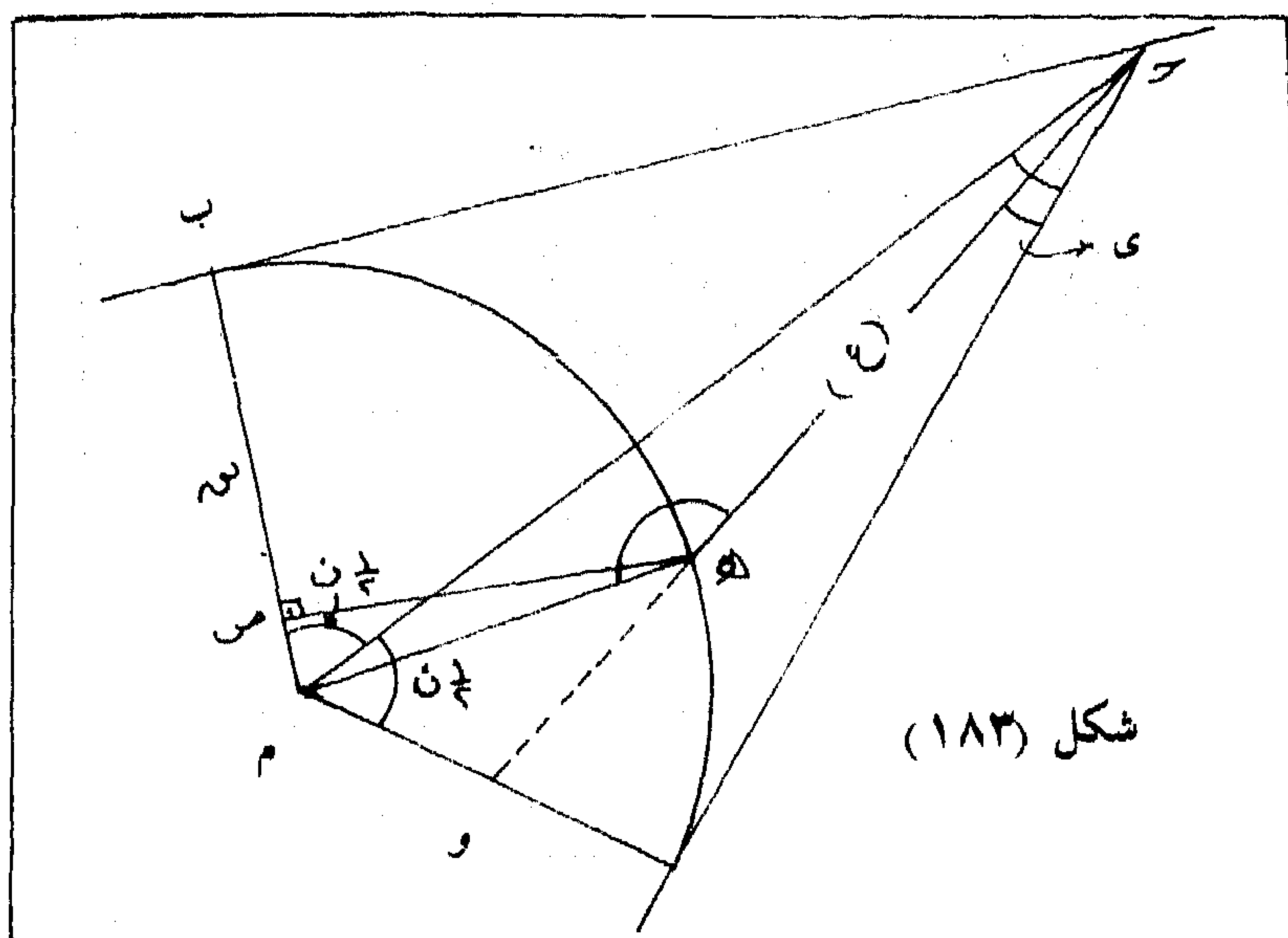
وبمعرفة طول ا ب والزاوية ب . يمكن إيجاد نصف القطر .

$$\text{س} = \frac{\frac{\text{١}}{\text{٢}}\ \text{ا حـ}}{\text{جا ب}} \qquad \text{...... (١٢٣)}$$

ثالثاً — إيجاد نصف قطر منحنى بسيط يمس خطين معلومين ويمر بنقطة معلومة :

أ — إذا كانت النقطة معلومة بزاوية من أحد المماسين وبعدها عن نقطة تقاطع المماسين :

١ ــ نفرض فى شكل (١٨٣) أن ا حـ ، ب حـ خطان مستقيمان ، يراد إيصالهما بمنحنى بسيط يمر بنقطة هـ المعلوم بعدها (ع) عن حـ ، الزاوية هـ حـ ا = ى .



شكل (١٨٣)

٢ ــ الزاوية م حـ ا = ٩٠° − $\frac{١}{٢}$ هـ ، الزاوية م حـ هـ = ٩٠° − $\frac{١}{٢}$ هـ − ى

$$م حـ = \frac{نق}{جتا \frac{١}{٢} هـ}$$

فى المثلث م حـ هـ :

$$\frac{جا م\hat{هـ} حـ}{جا م\hat{حـ} هـ} = \frac{م حـ}{م هـ} = \frac{م حـ}{نق} = \frac{١}{جتا \frac{١}{٢} هـ}$$

$$\text{جا م هـ حـ} = \frac{\text{جا م خ هـ}}{\text{جتا } \frac{1}{2}\text{ ﻫ}}$$

$$\text{حـ م هـ} = 180° - (\text{م هـ حـ} + \text{م خ هـ})$$

وباستعمال قانون الجيب مرة أخرى :

$$\text{م هـ} = \text{ﺳ} = \frac{\text{جا م خ هـ}}{\text{جاحـ م هـ}} \times \text{ع}$$

وأحياناً تكون الزاوية حـ م هـ صغيرة جداً مما ينتج عنه خطأ كبير فى إيجاد نصف القطر ، وفى هذه الحالة يحسن اتباع الحل التالى :

بعد إيجاد الزاوية حـ م هـ كما سبق :

$$\text{ب ص} = \text{ﺳ} \; (1 - \text{جتاب م هـ})$$

$$= \text{ع جاحـ هـ ص} = \text{ع جا} (\text{ﻫ} + \text{ى})$$

$$\boxed{\text{ﺳ} = \frac{\text{ع جا} (\text{ﻫ} + \text{ى})}{1 - \text{جتا} \left(\frac{1}{2}\text{ﻫ} + \text{حـ م هـ} \right)}} \quad \ldots\ldots (124)$$

وهناك مسألة كثيراً ما نصادفها فى تخطيط الشوارع ، وهى عكس ما سبق ، وذلك لإيجاد مكان تقاطع طريق مستقيم مع آخر منحنى فيكون معلوم لدينا الزاوية ا حـ هـ ، ونصف القطر والمطلوب إيجاد المسافة حـ هـ . وهذه يمكن إيجادها من المعادلة السابقة .

ب ــ النقطة المعلومة باحداثيين احداهما فى اتجاه أحد المماسين والآخر عمودى عليه .

١ ــ نعتبر نقطة تقاطع المماسين كنقطة الأصل ، ففى شكل (١٨٤) أحداثيات النقطة المعلومة هـ هى س ، ص .

٢ ــ نأخذ هـ$_١$ ، متماثلة مع هـ ، ونصل هـ هـ$_١$ ، ونمده من طرفيه ليقطع المماسين فى و ، و$_١$. ولإيجاد ى نتبع الخطوات التالية :

٣ ــ و هـ = ص / جا $\frac{١}{٢}$ هـ ، و ل = ص ظا $\frac{١}{٢}$ هـ

حـ و = س + و ل

و ك = حـ و جتا $\frac{١}{٢}$ هـ ، و هـ$_١$ = ٢ و ك ــ و هـ

ا و = $\sqrt{\text{و هـ}_١ \cdot \text{و هـ}}$ ، ف = حـ و + ا و ، ى = ف ظتا $\frac{١}{٢}$ هـ ويمكن أيضاً إثبات أن :

ى = (ص ظتا $\frac{هـ}{٢}$ + س ± و ا) ظتا $\frac{هـ}{٢}$

..... (١٢٥)

حـ ــ النقطة المعلومة باحداثيين (محور السينات هو الخط الواصل بين نقطة التقاطع والمركز ونقطة التقاطع هى نقطة الأصل) :

١ ــ فى شكل (١٨٤) إحداثيات النقطة هـ هى س$_١$ ، ص$_١$.

٢ ــ $\frac{\text{ا م}}{\text{حـ م}}$ = جتا $\frac{١}{٢}$ هـ

ولكن م ك = $\sqrt{\text{ى}^٢ - \text{ص}_١^٢}$

∴ م حـ = م ك + ك حـ = $\sqrt{\text{ى}^٢ - \text{ص}_١^٢}$ + س$_١$

شكل (١٨٤)

$$\therefore \frac{\text{م ا}}{\text{حـ م}} = \frac{\text{ع}}{(\text{ع}^2 - \text{ص}_1^2)^{\frac{1}{2}} + \text{س}_1} = \text{جتا}\ \frac{1}{2}\text{هـ}$$

$$\text{ع قاهـ} - \text{س}_1 = \sqrt{\text{ع}^2 - \text{ص}_1^2}$$

$$\text{ع} = \frac{\text{س}_1\ \text{قا}\ \frac{1}{2}\text{هـ} + \sqrt{\text{س}_1^2 - \text{ص}_1^2\ (\text{قا}^2\ \frac{1}{2}\text{هـ} - 1)}}{\text{قا}^2\ \frac{1}{2}\text{هـ} - 1} \quad \text{.......} \ (126)$$

فى هذه المعادلة إذا كانت $\frac{1}{2}$هـ ، $س_1$ ، $ص_1$ معلومة ، فإنه يمكن حساب نصف القطر ، وإذا كانت $ص_1$ = صفر فإن النقطة تكون هى قمة المنحنى ويؤول نصف القطر إلى :

$$نق = \frac{س_1}{قا \frac{1}{2} هـ - 1} = \frac{س \, جتا \frac{1}{2} هـ}{1 - جتا \frac{1}{2} هـ} \quad \ldots\ldots (127)$$

رابعاً — تعيين المساحة المشتركة بين طريقين :

كثيراً ما يتطلب الأمر إيجاد المساحة المشتركة بين طريقين متقاطعين ، أحدهما مستقيم والآخر دائرى أو الأثنين دائريين ، وتوجد لذلك عدة حالات سنبين بعضها فيما يلى :

أ — تقاطع طريق مستقيم مع آخر دائرى :

١ — فى شكل (١٨٥) نصف قطر محور الطريق = نق

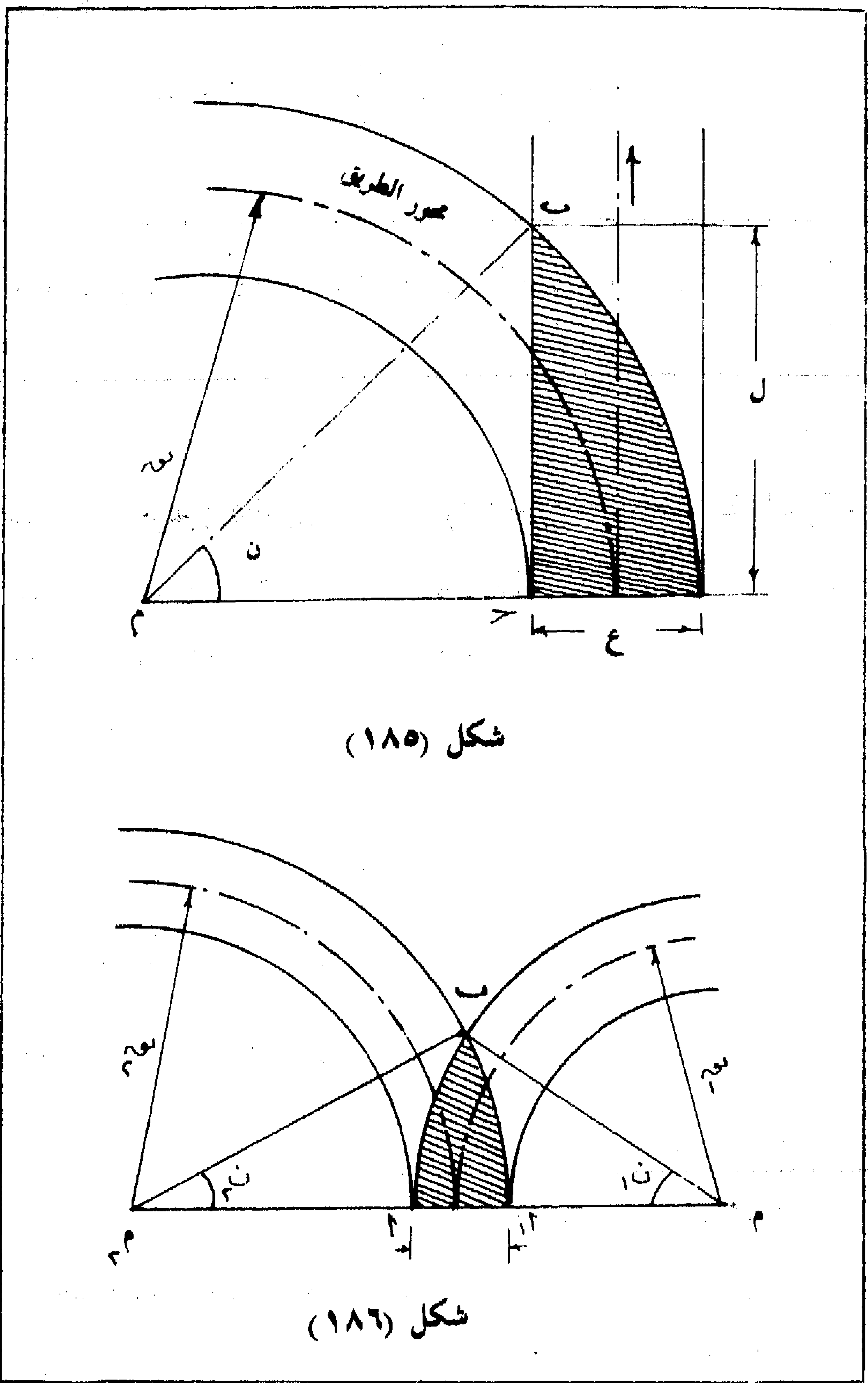
وعرض كل من الطريقين = ع

٢ — ب حـ = ل = $(نق + \frac{1}{2} ع)$ جاهـ

$$= \sqrt{(نق + \frac{1}{2} ع)^2 + (نق - \frac{1}{2} ع)^2}$$

٣ — مساحة القطاع ا م ب = $ط \, (نق + \frac{1}{2} ع)^2 \cdot \frac{هـ}{360°}$

$$= 0{,}01745 \times \frac{1}{2} (نق + \frac{1}{2} ع)^2 هـ$$



شكل (١٨٥)

شكل (١٨٦)

حيث $هـ$ بالدرجات

مساحة المثلث ب حـ م $= \frac{1}{2} ل \left(س - \frac{1}{2} ع \right)$

$$\text{المساحة المشتركة} = ٠,٠١٧٤٥\, هـ \times \left(س + \frac{1}{2} ع \right)^2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} ل \left(س - \frac{1}{2} ع \right)$$

.... (١٢٨)

ب ــ تقاطع طريقين دائريين يقع مراكزهما على جانبى المساحة المشتركة :

نفرض فى شكل (١٨٦) أن نصفى قطرى المحورين هما $س_١$ ، $س_٢$ ، المثلث $م_١$ ب $م_٢$ أضلاعه الثلاثة معلومة .

$$م_١ ب = س_١ + \frac{1}{2} ع$$

$$م_٢ ب = س_١ + \frac{1}{2} ع$$

$$م_١ م_٢ = س_١ + س_٢$$

جتا ب $م_٢ م_١$ = جتا $هـ_٢$ =

$$= \frac{(ب م_٢)^2 + (م_١ م_٢)^2 - (م_١ ب)^2}{2 (م_٢ ب)(م_١ م_٢)}$$

وبإيجاد قيمة الزاوية ب $م_٢ م_١$ نوجد الزاوية ب $م_١ م_٢$ كما يلى :

$$\text{جا ب } م_١ م_٢ = \text{جا } هـ_١ = \frac{\text{جا (ب } م_٢ م_١) \cdot (م_٢ ب)}{م_١ ب}$$

$$م_٢ \hat{ب} م_١ = ١٨٠^\circ - (هـ_١ + هـ_٢)$$

مساحة الجزء المظلل = مساحة القطاع م$_1$ب أ + مساحة القطاع م$_2$أ$_1$ب
ــ مساحة المثلث م$_1$ م$_2$ب

مساحة القطاعين = $\frac{1}{2}$ × ٠,٠١٧٤٥ (ں + $\frac{1}{2}$ ع)^2 ھ$_2$

+ $\frac{1}{2}$ × ٠,٠١٧٤٥ (ں$_1$ + $\frac{1}{2}$ ع)^2 ھ$_1$

حيث ھ$_1$ ، ھ$_2$ مقدرة بالدرجات .

مساحة المثلث م$_1$ م$_2$ب = $\frac{(\text{م}_2\text{ب})^2 \text{ جا م}_2\text{ب م}_1 \text{ جا ھ}_2}{2 \text{ جا ھ}_2}$

= $\frac{1}{2}$ م$_2$ب . م$_1$ب . جا م$_2$ب م$_1$

مساحة الجزء المشترك بين الطريقين **الدائريين =** $\frac{1}{2}$ × ٠,٠١٧٤٥ (ں$_2$ + $\frac{1}{2}$ ع)^2 ھ$_2$ + $\frac{1}{2}$ × ٠,٠١٧٤٥ × (ں$_1$ + $\frac{1}{2}$ ع)^2 ھ$_1$ ــ $\frac{1}{2}$ م$_2$ب . م$_1$ب . جا م$_2$بَ م$_1$

(١٢٩) ....

خامساًــ توقيع محاور دعامات كوبرى تقع على منحنى بالرصد من الشاطئين

الحالة الأولى : **نقطتا التماس تقعان على الشاطئين :**

وبذا فإن جميع الدعامات (وبالتالى كل الكوبرى) تقع على المنحنى . فى هذه الحالة المعلومات الأولية هى :

١ ــ نصف قطر المنحنى .

٢ ــ التدريج حتى وجه أول دعامة .

٣ ــ الزاوية التى يعملها المماس مع وجه أول دعامة عند نقطة التقاطع .

٤ ــ أطوال البحور (span) .

٥ ــ المسافة بين الدعامات .

٦ ــ تدريج مركز كل دعامة .

وهذه الكميات كما يلى :

فى شكل (١٨٧) ا ب حـ ، ء هـ ط يمثلان محورين متوازيين لدعامتين تقعان على منحنى نصف قطره نق .

نفرض أن $\text{ھ}_{١}$ ، $\text{ھ}_{٢}$ هما الزاويتان المحصورتان بين المحورين والمماسين عند ب ، هـ على الترتيب .

ف = المسافة العمودية بين المحورين .

و = طول الوتر هـ ب = طول البحر

والآن معطى نق ، $\text{ھ}_{١}$ ، وتدريج ب ، والمطلوب إيجاد $\text{ھ}_{٢}$ ، وتدريج هـ

الزاوية المركزية ب م هـ $= \text{ھ}_{٢} - \text{ھ}_{١}$.

$$\text{و} = ٢\,\text{نق}\ \text{جا}\ \frac{١}{٢}(\text{ھ}_{٢} - \text{ھ}_{١})$$

$$\text{ولكن ب هـ ط} = \frac{١}{٢}(\text{ھ}_{٢} - \text{ھ}_{١})$$

$$\therefore\ \text{و} = \text{ف}\ \text{قتا}\ \frac{١}{٢}(\text{ھ}_{١} + \text{ھ}_{٢})$$

وبمساواة قيمتى (و) ينتج أن :

شكل (١٨٧)

$$\text{ف} = ٢\,\text{س}\ \text{جا}\ \frac{١}{٢}\left(\text{هـ}_{٢} - \text{هـ}_{١}\right)\ \text{جا}\ \frac{١}{٢}\left(\text{هـ}_{٢} + \text{هـ}_{١}\right)$$

$$= \text{س}\left(\text{جتاهـ}_{١} - \text{جتاهـ}_{٢}\right)$$

...... (١٣٠)

ومن ثم يمكن إيجاد $\text{هـ}_{١}$ وهو المطلوب أولاً ....

تدريج هـ = تدريج ب + طول القوس ب هـ

$$= \text{تدريج ب} + \frac{\text{ط}\left(\text{هـ}_{٢} - \text{هـ}_{١}\right)}{١٨٠}\,.\,\text{س}$$

وإذا كان ا ب حـ لا يوازى ء هـ و فإن المسافة ف تكون غير موجودة .

ويستعاض عنها بالقيمة و ، وبعد حساب $ه_٢$ على فرض أن المحورين متوازيان يجب أخذ الزاوية بين المحورين فى الاعتبار ، بإضافتها أو طرحها ، حسب الحالة ، على $ه_٢$.

التخطيط :

١ ــ فى شكل (١٨٨) حيث أنه لا يمكن الوصول إلى نقطة تقاطع المماسين حـ فنوقع نقطتى ا ، ب بأن نوجد طول مثل هـ و بقياس خط قاعدة على الشاطىء مثل ء و ، ورصد زاويتين منه أو كل زوايا المثلث ء و هـ وحل المثلث ثم يكمل العمل بأن نعين موقع النقطتين ا ، ب كما سبق .

٢ ــ نوقع النقط المطلوبة بواسطة تيودوليتين عند كلا من ا ، ب . فلتوقيع نقطة على المحور مثل ص ، تحسب زاويتا انحرافها حـ ا ص ، حـ ب ص بعد إيجاد طول كل من القوسين ا ص ، ب ص كما سبق آنفاً .

٣ ــ بنفس الأسس نوقع نقط أخرى مثل ع بعد حساب الزاويتين حـ ا ع ، حـ ب ع .

حـ ا ع = حـ ا ص + ص ا ع

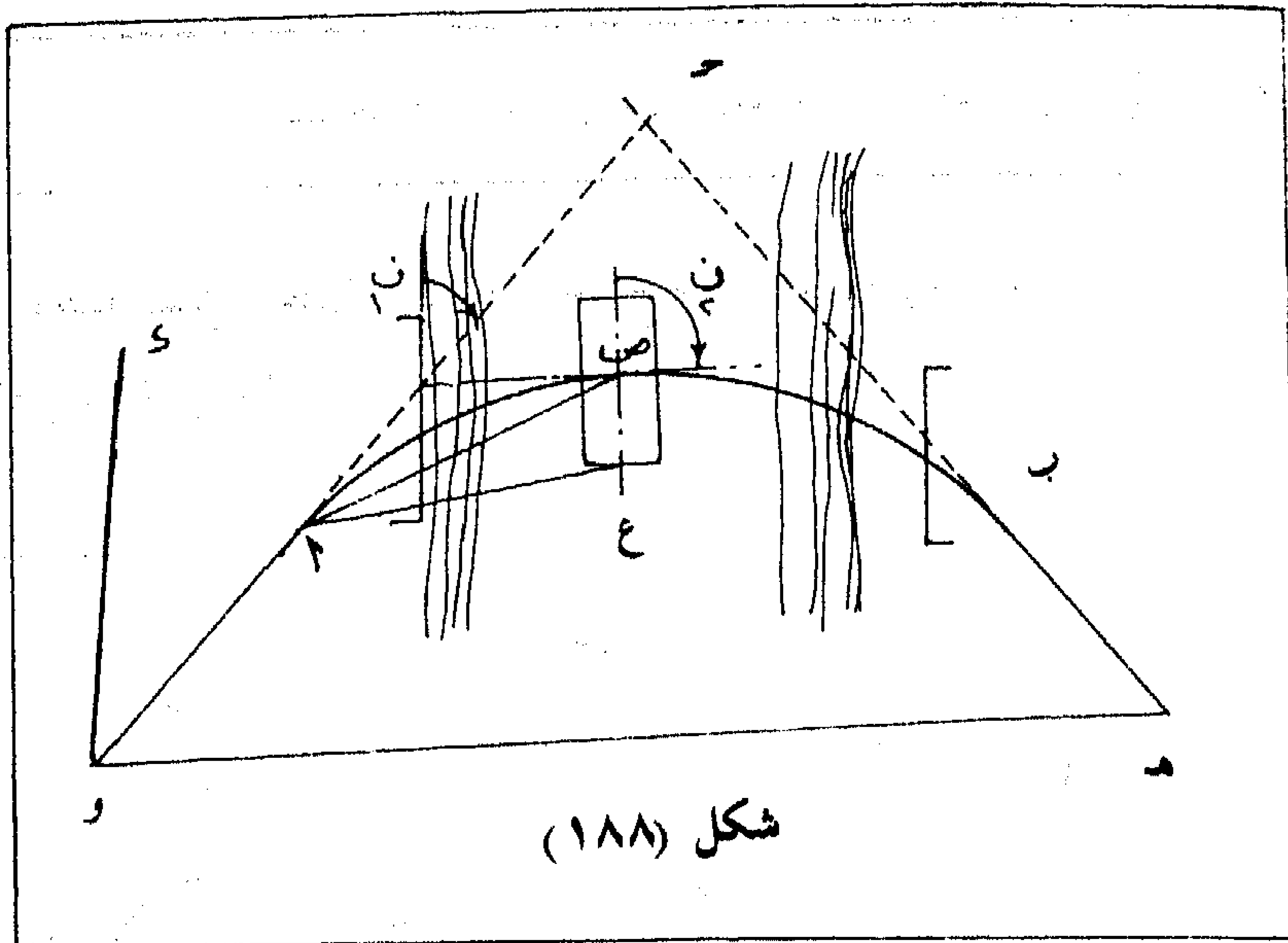
حيث حـ ا ص معلومة أما ص ا ع فيمكن إيجادها من حل المثلث ا ص ع حيث فيه ص ع معلوم . ا ص وترفرس معلوم ، وزاوية ا ص ع = $ه_٢$ ــ حـ ا ص .

ويمكن توقيع أى نقطة بنفس هذه الطريقة طالما أن موضعها محدد بالنسبة لنقطة معلوم تدريجها على المحور .

الحالة الثانية ــ نقطتا التماس تقعان فى النهر :

وبذا فإن بعض الدعامات فقط تقع على المنحنى .

إن الاختلاف الوحيد فى المعلومات الأولية عن الحالة الأولى ، هو أن زاوية



شكل (١٨٨)

الدعامة الأولى تقاس من المماس الأصلى وليس من المماس عند النقطة على المنحنى .

فى شكل (١٨٩) ا ب حـ ، ء هـ و يمثلان المحورين المتوازيين لدعامتين وبحيث أن نقطة التماس الأولى (ب$_1$) تقع بينهما .

نفرض أن المعلوم هو ن ، ف$_1$ ، هـ$_1$ ، وتدريج ب ، ب$_1$.

والمطلوب قيمة هـ$_2$ وتدريج نقطة هـ .

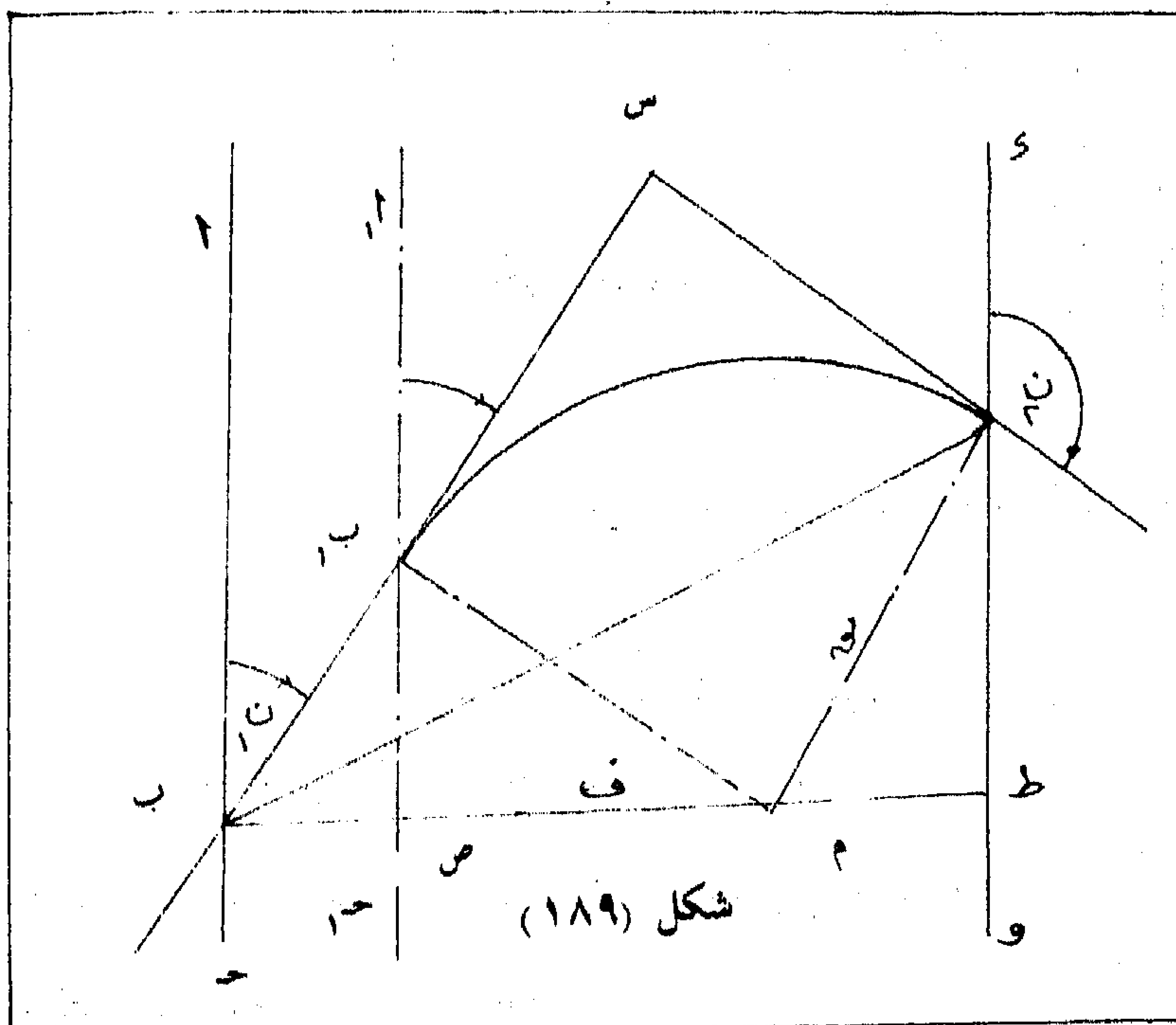
١ ـــ نرسم من ب$_1$ الخط ا$_1$ ب$_1$ حـ$_1$ يوازى ا ب حـ .

الزاوية ا$_1$ ب$_1$ س = هـ$_1$

٢ ـــ نطبق نفس الطرق السابقة على الخطين ا$_1$ ب$_1$ حـ$_1$ ، ء هـ و حيث البعد العمودى بينهما ص ط = (ب ط ـــ ب ص) = ف ـــ ب ب$_1$ جا هـ$_1$ ومقابل النتائج السابقة .

ى = (جتاهـ$_1$ ـــ جتاهـ$_2$) = (ف ـــ ب ب$_1$ جاهـ$_1$) .. (١٣١)

وهذه تقابل المعادلة السابقة ، تدريجهـ = تدريج (ب) + ب ب$_1$ + ط (هـ$_2$ ـــ هـ$_1$) ى .



شكل (١٨٩)

مسـائل

١ ــ منحنى دائرى يصل بين ا حـ ، ب حـ ، يتجه يساراً من ا إلى ب . فإذا كانت درجة المنحنى ٤٥′ ١° وتدريج نقطة حـ هو ٧٥,٨٤ جنزيراً . الزاوية الداخلية ا حـ ب = ٤٠° . أوجد :

أولا ــ تدريج نقطة منتصف المنحنى .
ثانيا ــ إحداثيات نقطة قمة المنحنى إذا وقعت من المماس ا حـ .
ثالثا ــ زاوية انحراف النقطة الثالثة على المنحنى .

٢ ــ منحنى دائرى درجته ٣,٨٢° وتدريج نقطة بدايته ٣٢٠,٣٤ ، ونهايته هو ٣٣٩,٧٥ . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زيدت زاوية التقاطع بإدارة المماس الثانى حول نقطة التقاطع أربع درجات . أوجد تدريج نقط التماس الجديدة للمنحنى .

٣ ــ منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً يصل بين مماسين الفرق بين انحرافيهما ١٨° ، يراد تغيير التخطيط بإدخال جزء مستقيم طوله ٦ جنازير بين المماسين ويتوسط المسافة بينهما تماماً ثم إيصال هذا الجزء المستقيم بمنحنيين مع المماسين بنصفى قطرين متساويين . فإذا كانت نقطة التماس الأصلية ستظل كما هى فى مكانها ، أحسب نصف قطرى المنحنيين المطلوبين وأقصى بعد بين المنحنى الأصلى والمنحنى المعدل .

٤ ــ الزاوية الداخلية ا ب حـ بين مماسين تساوى ١٣٠° ويراد إيصالهما بمنحنى دائرى يمر بنقطة ى التى تبعد عمودياً عن ا ب (المماس) بمقدار ى هـ = ٢٩ متراً والمسافة ب هـ = ٤٠٠ متراً. أوجد نصف القطر . وإذا كان تدريج نقطة التقاطع ١٥٧,٤٥ جنزير أوجد تدريج نهاية المنحنى .

٥ ــ خط سكة حديد نصف قطره ٨٠٠ متر وتدريج نقطة حـ نقطة التقاطع هو ٤٨,١٧ فإذا أريد إنشاء خط سكة حديد آخر يمر بنقطة ى التى

تقع على ا حـ ويمر كذلك ماسا المنحنى عند النقطة مثل هـ المقترح إنشاء محطة عندها . وعلم أن ء تبعد عن حـ بمقدار ١٨٠ مترا فاحسب .

أولاً : الزاوية حـ ء هـ التى يقطع بها الخط الجديد المماس حـ ا .
ثانياً : تدريج موقع المحطة المقترح .
ثالثاً : المسافة بين نقطة تقاطع الخط الحديدى الجديد مع المماس حـ ب ، وبين ب .

علماً بأن الزاوية الداخلية بين المماسين حـ ا ، حـ ب هى ٤٠َ ١٥٤° .

٦ ــ ا حـ جزء من منحنى سكة حديد قيس الوتر ا حـ فكان ١٨٠ متراً . أقيم من ء (نقطة على الوتر ا حـ) على بعد ٦٠ متر من ا عمودى ء ب فوجد أن طوله ٢٤ متراً . ب على المنحنى . فإذا كانت تدريج نقطة حـ = ٦٨,٧٤ وكان المنحنى يتجه تدريجه من اليسار إلى اليمين فأوجد :

أولاً ــ تدريج المنحنى عند ا ، وتدريج نقطة ب ، وكذلك تدريج نقطة التقاطع .

ثانياً ــ أحداثيات قمة المنحنى إذا أريد توقيعها من المماس عند ا .

ثالثاً ــ زاوية انحراف النقطة الثالثة والأخيرة على المنحنى إذا اعتبرنا نقطة التماس هى أول نقطة على المنحنى .

رابعاً ــ طول العمود المطلوب لتوقيع ثانى وثالث وآخر نقطة لها تدريج على المنحنى إذا كان التوقيع بطريقة الشريطين (امتداد الوتر) .

خامساً ــ درجة المنحنى إلى أقرب دقيقة صحيحة . (استعمل دائماً القوانين التقريبية فى الحل) .

٧ ــ ثلاث نقط ا ، ب ، حـ أحداثياتها على التوالى هى :

النقطة	الأحداثى الأفقى	الأحداثى الرأسى
ا	١٢٦٣ شرقاً	١٥٧٣ شمالاً

ب	٩٢٣ شرقاً	٥٨٧ شمالاً
حـ	١٦٣٩ شرقاً	٧٢٣ شمالاً

وصل الخطان ا ب ، ا حـ ومدا على استقامتهما والمطلوب تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمس المستقيم ب حـ ، وامتداد كل من الخطين ا ب ، ا حـ .

٨ ــ ثلاث نقط ا ، ب ، حـ حيث أحداثيات نقطتى ب ، حـ بالنسبة لنقطة ا هى :

النقطة	الأحداثى الأفقى	الأحداثى الرأسى
ب	٤٥٠ شرقاً	٥٣٦ شمالاً
حـ	١٣٣٦ شرقاً	٦٩٢ شمالاً

عين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر بالثلاث نقط ا ، ب ، حـ .

٩ ــ يراد تخطيط منحنى دائرى بسيط بحيث يمر بنقطة تبعد عن نقطة تقاطع المماسين بمسافة ٤٠ متراً فإذا كانت هذه النقطة تبعد بعداً متساوياً عن كل من بداية ونهاية المنحنى فما هو نصف قطر هذا المنحنى علماً بأن إنحراف المماسين عن بعضهما هو ٤٠′ ٤٦°٥ .

١٠ ــ خطان ا ب ، ب حـ انحرافهما ٣٦′ ٣٦°٥ ، ٠٠′ ٨٠°٥ على التوالى يراد إيصالهما بمنحنى دائرى بسيط بحيث يمر هذا المنحنى بنقطة ل التى تبعد ٢٧٠ متراً عن نقطة ب فى إتجاه ب ا ، ٨٨ متراً عمودياً على هذا الاتجاه ــ عين نصف قطرها هذا المنحنى .

١١ ــ طريقان س ا ب ، س ا حـ (ب حـ مماس للمنحنى) يتفرعان عند نقطة التماس ا . نصف قطر المنحنى ٤٠٠ متر وتدريج نقطة حـ = ٢٤٧,٤٧ جنزيراً أوجد :

أولاً : تدريج نقطة ب على الطريق المستقيم .
ثانياً : زاوية إنحراف أول نقطة على المنحنى بعد ا وذات تدريج صحيح .
ثالثاً : طول الأحداثى الأفقى فى إتجاه ا ب والأحداثى العمودى عليه لتعين قمة المنحنى . (الأحداثى الأفقى من ا) .
رابعاً : طول طريق ب ع الذى يصل من ب إلى ع ثالث نقطة ذات تدريج صحيح على المنحنى .
خامساً : تدريج قمة المنحنى .

١٢ ــ من نقطة ا المعلومة يراد تخطيط مماس ا ى لمنحنى دائرى موجود نصف قطره ٤٠ جنزيراً وهذا المنحنى هو ب ى حـ . أجرى الخط ا ب حـ ليقطع المنحنى بحيث أن ا ب = ١٠,٢٠ جنزيراً ، ب حـ = ٤,٣٢ جنزيراً أحسب الزاوية ب ا ى وطول القوس ب ى .

١٣ ــ منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً حيث ا ، ب هما نقطتا التماس والمماسين هما ا ب ، ب حـ زاوية تقاطعهما = ٢٨′ ١٩° . يراد تعديل التخطيط للمماس حـ ب إلى الوضع ى هـ ، حيث ى تقع على حـ ب وتبعد بمقدار ١,٥٧ جنزيراً من ب ناحية حـ والزاوية حـ ى هـ على جانب حـ ب البعيد من ا هى ١٦′ ١٧٧° . فإذا إحتفظنا بمقدار نصف القطر الأصلى ، أوجد مسافة نقطة التماس الجديدة من ا ، ب على الترتيب .

١٤ ــ ا حـ ، حـ ب خطا سكة حديد يتقاطعان فى زاوية تقاطع قدرها ٤٦′ ١٢° . وصلا بمنحنى ا ب نصف قطره ٧٠ جنزيراً ، وتدريج نقطة الابتداء ا هو ٤٧,٧٦ . من ى على ا حـ التى تبعد بمقدار ٤,٠٤ جنزيراً من ا ، يراد تخطيط مماس ى هـ للمنحنى : أحسب (١) الزاوية حـ ى ب (٢) تدريج هـ (٣) المسافة من نقطة تقاطع امتداد ى هـ مع حـ ب ونقطة ب .

١٥ ــ قطار حربى يمر على منحنى سكة حديد نصف قطره ٧١,٤٧ جنزيراً وزاوية تقاطع مماسيه ٢٨° . تربص له الفدائيون عند نقطة التقاطع لأصابة القطار عند مروره على المنحنى عند نقطة متساوية البعدين عن

المماسين . على أى بعد يكون الفدائيون من القطار عند مروره بهذه النقطة وإذا كان تدريج نقطة التقاطع ٧٢,٨ فما هو تدريج نهاية المنحنى .

١٦ ــ ثلاث نقط أحداثياتها .

	أفقى	رأسى
ا	١٠٠	١٠٠
ب	٣١٥	٦٧٦
حـ	٩٠٠	ــ ٨٥٠

عين نصف قطر المنحنى البسيط الذى يمر بالثلاث نقط ثم حدد طول قوس المنحنى .

١٧ ــ يراد تخطيط طريق منحنى بحيث يكون مماساً للخطوط ا ب ، ب حـ ، ء ا .

فإذا كانت احداثيات كل من ا ، ب هى .

ا (- ٢٩٣٤ ، - ١٢٨٧٦)

ب (- ١٧٧٩٧ ، - ٥٨٣٩)

وانحراف ء ا ، حـ ب هما :

١٠″ ٥٨′ ١١٤° ، ١٠″ ٢٤′ ٥٤°

عين نصف قطر المنحنى وطوله .

١٨ ــ خطان مستقيمان ا ب ، ا حـ انحرافيهما الدائرى ٣٢٩° ، ٣١° على الترتيب وطول كل منهما هو ٢٠٠ متر يراد إيصالهما بمنحنى دائرى بسيط متيامن من ب إلى حـ فى الجهة العكسية من ا بالنسبة إلى ب حـ عين :

ا) نصف المنحنى　　　　ب) إحداثيات قمته بالنسبة لنقطة ا

حـ) طول السهم الداخلى والخارجى　　ء) طول المنحنى

هـ) معدل الانحدار على المنحنى إذا كان الفرق بين منسوبى ب، حـ هو ١٤ متراً .

١٩ ـــ منحنى دائرى بسيط يصل مماسين زاوية التقاطع لهما ٦٤° ويمر بنقطة حـ التى تقع على خط مستقيم يمر بنقطة التقاطع ويصنع ١٨° مع المماس الأول ـــ فإذا كانت النقطة حـ تبعد عمودياً عن المماس الأول ١٠٥ متر فعين نصف قطر المنحنى .

٢٠ ـــ مماسان لمنحنى دائرى بسيط لا يمكن إحتلال نقطة تقاطعهما فأخذت نقطتان س ، ص على كل منهما وقيست الزاويتان الداخليتان س ، ص فكانت ١٩′ ٢٨° ، ٢٢′ ١٤° وكانت المسافة س ص = ٦,٥ جنزير وتدريج س هو ٧٦,٧٤ عين أحداثيات نقطة القمة من المماس الجزئى وكذلك تدريج النقطة التى تليها مباشرة إذا كانت درجة المنحنى ٤° .

٢١ ـــ منحنى دائرى يصل بين ا حـ ، ب حـ . وكان نصف القطر ٤٠٠ م . أوجد ما يلى :

١ ـــ العمود اللازم لتوقيع ثانى وثالث نقطة على المنحنى غير نقطة التماس الأولى وذلك بطريقة أمتداد الأوتار .

٢ ـــ تدريج نقطة التماس الثانية ب .

٣ ـــ زاوية إنحراف النقطة الأخيرة عن المنحنى قبل ب .

٤ ـــ زاوية إنحراف أول نقطة ذات تدريج بعد منتصف المنحنى وذلك من منتصف الوتر الكلى .

٥ ـــ ما هو الأحداثى السينى لنقطة إذا كان بعدها عن الوتر الكلى ١,٤٥ م .

٦ ـــ زاوية إنحراف نقطة على بعد ٨٠ متر من ب على المنحنى .

٧ ـــ العمود اللازم لتوقيع آخر نقطة قبل ب . (بطريقة امتداد الأوتاد).

٨ ــ ما تدريج النقطة على المنحنى التى تجعل البعد المستقيم بينها وبين ا ضعف المسافة بينها وبين ب .

٩ ــ العمود اللازم لتوقيع أول نقطة ذات تدريج بعد نقطة منتصف المنحنى .

١٠ ــ زاوية إنحراف وطول المسافة من ا حتى نقطة تبعد ١٢٠ متر من منتصف المنحنى .

١١ ــ ما بعد نقطة عند منتصف السهم الداخلى عن كل من ا ، ب وكذلك عن النقطة التى تحدد ربع المنحنى من ا .

١٢ ــ الأبعاد اللازمة لتوقيع النقطة المطلوبة فى رابعاً وذلك من المماس عند ا .

١٣ ــ نصف قطر المنحنى الذى لا يختلف فيه طول المنحنى (٤٠ متر) وطول الوتر المقابل له عن عشرة سنتيمترات .

١٤ ــ الأحداثيات اللازمة لتوقيع نقطة تبعد ٦٤ متر من ب وذلك من المماس عند ا .

علماً بأن تدريج حـ = ٤٤,٦ ، الزاوية الداخلية ا حـ ب = ٢٤ َ ١٣٦°.

٢٢ ــ منحنى أفقى لطريق سكة حديد يمر بنقطتى حـ ، ء المسافة بينهما على الخط المستقيم = ١٨٠ متراً . من نقطة س التى على حـ ء وتبعد بمقدار ٧٠ مترا من حـ أقيم العمود س ص ليقابل المنحنى فى ص فكان طوله = ٢٨ متراً فأوجد ما يلى :

أولاً ــ نصف قطر المنحنى .

ثانياً ــ تدريج نقطة ربع المنحنى إذا كان تدريج نقطة تقاطع مماسى المنحنى = ٤٧,١٦ .

ثالثاً ــ تدريج نقطة ص .

رابعاً ــ زاوية أنحراف نقطة ص من نقطة التماس الأولى .

خامساً ــ طول العمود اللازم لتوقيع نقطة على المنحنى من حـ ء وتبعد عن منتصف المنحنى بمقدار ٢٠ متراً .

سادساً ــ طول العمود اللازم لتوقيع نقطة نهاية المنحنى والنقطة التى قبلها .

سابعاً ــ طول كل من السهم الداخلى والخارجى .

٢٣ ــ طريق مستقيم بعرض ٨ متر وطريق آخر نصف قطره ٥٠ متر وبعرض ٨ متر . أوجد المساحة المشتركة بين الطريقين .

٢٤ ــ طريقان بنصفى قطر ٨٠ مترا ، ١٢٠ مترا يتقاطعان . أوجد المساحة المشتركة بين الطريقين علماً بأن عرض كل من الطريقين عشرة أمتار .

٢٥ ــ النقطة الأولى للتماس فى منحنى سكة حديد نصف قطره ٤٠ جنزيراً تقع فى الماء ، ولكن أمكن ايجاد تدريجها وهو ٤٠,١٤ يراد وضع وتد عند التدريج ٤٥ بالرصد من نقطة ٤٧ على التماس . أحسب لأقرب ٢٠″ الزاوية الواجب توقيعها من المماس والمسافة الواجب قياسها لتوقيع هذا الوتد .

٢٦ ــ يراد عمل منحنى بين مماسين الزاوية الداخلية بينهما ١٠٣° ويمر بنقطة التى تقع على خط مستقيم يمر بنقطة حـ نقطة التقاطع وهذا المستقيم يصنع زاوية هـ = ١٣° مع المماس الأول . علماً بأن المسافة حـ ط = ١٥٠ متر . أوجد نصف القطر .

٢٧ ــ عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاماً أن يمر بنقطة تبعد ٥٠ متراً عن نقطة التقاطع على بعدين متساويين من المماسين . تدريج نقطة التقاطع ٢٧٠ وزاوية التقاطع ٢٨° . أحسب نصف قطر المنحنى وتدريج ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

٢٨ ــ طريق مستقيم عرضه ١٦ مترا يتفرع من طريق دائرى نصف قطره ١٢٠ مترا . فإذا كانت المسافة العمودية بين نقطة التفرع لمحور الطريقين ونقطة تلاقى الطريقين هى ٥٦ متراً . فعين المساحة المشتركة بين الطريقين .

٢٩ ـــ طريقان منحنيان نصفا قطريهما ١٦٠ ، ٢٤٠ متراً ـــ يتقابل محوارهما فى نقطة على الخط الواصل بين مركزيهما فإذا كان عرض كل من الطريقين ١٢ متراً ، وكان البعد العمودى من نقطة تلاقى الطريقين والخط الواصل بين المركزين هو ٦٦ فعين المساحة المشتركة بين الطريقين :

أولاً ـــ إذا كان انحناء الطريقين فى اتجاهين مختلفين .

ثانياً ـــ إذا كان انحناء الطريقين فى اتجاهين متضادين .

الباب الثامن عشر
المنحنيات المركبة والعكسية

Compound and Reversed Curves

أولاً ــ المنحنيات المركبة

المنحنى المركب هو منحنى مكون من قوسين دائريين (أو أكثر) نصفا قطريهما مختلف شكلى (١٩٠ ، ١٩١) وبحيث يكون مراكزهما فى جهة واحدة من المماس المشترك لهما .

ويستعمل المنحنى المركب فى الأحوال الآتية :

١ ــ حالة صعوبة تخطيط المنحنيات البسيطة لوجود موانع لا يمكن إزالتها ويرجع ذلك عادة إلى طبيعة سطح الأرض فى المنطقة .

٢ ــ حالة العقبات التى تنشأ عن وجود الأعمال الصناعية الهامة والتى لا يمكن ازالتها حيث أن الواجب دائماً هو تخطيط الطريق تخطيطاً إقتصادياً بالاضافة إلى اختيار درجة التقوس المناسبة من الناحية الهندسية .

٣ ــ فى الأراضى الجبلية لتفادى كميات الحفر أو عمل أنفاق إذا كانت منطقة المنحنى مرتفعة ارتفاعاً كبيراً .

٤ ــ حالة وجود منحنيين بسيطين متجاورين ويفصلهما جزء مستقيم قصير وفى هذه الحالة يستبدل بهذين المنحنيين البسيطين منحنى مركب لتسهيل القيادة على الطريق .

وعموماً يجب عدم استعمال المنحنيات المركبة إلا إذا تطلبت طبيعة الأرض وظروف المشروع ذلك حسب ما ذكرنا ، إذ أنه غير مرغوب فيه هندسياً .

شكل (٩٠)

شكل (١٩١)

عناصر وأجزاء المنحنى المركب

لدينا منحنيين بسيطين ا ء ، ء ب يصلان ا حـ ، حـ ب ويمثلان منحنى مركب يمس كل من ا حـ ، حـ ب ، س ص .

وشكل (١٩١) يبين أجزاء المنحنى المركب وهى :

$م_١$ ، $م_٢$ = مركزا القوسين

$نق_١$ ، $نق_٢$ = نصفا القطرين حيث $نق_٢$ الأكبر دائماً سواء أكان قوسه فى الأبتداء أو فى الانتهاء .

هـ = زاوية تقاطع المنحنى المركب .

$ف_١$ ، $ف_٢$ = طولا المماسين حيث $ف_٢$ هو الأكبر ويجاور القوس ذى نصف القطر الأكبر .

س ص = طول المماس المشترك للمنحنى عند ء نقطة اتصال القوسين = $ف'_١ + ف'_٢$

$هـ_١$ ، $هـ_٢$ = الزاويتان المركزيتان المقابلتان للقوسين .

$ل_١$ ، $ل_٢$ = طولا قوسى المنحنى ا ء ، ب ء على الترتيب .

المماسان الجزئيان للقوس $ل_١$ هما ا ص ، ص ء = $ف'_١$

المماسان الجزئيان للقوس $ل_٢$ هما ء س ، س ب = $ف'_٢$

ا ، ب بداية ونهاية المنحنى المركب ، ء نقطة اتصال القوسين ونهاية $ل_١$ ، وبداية $ل_٢$.

خواص المنحنى المركب :

١ ــ مراكز الأقواس المكونة للمنحنى ، تكون جميعها فى جهة واحدة من المنحنى .

٢ ــ نقطة التماس المشتركة والمركزان $م_١$ ، $م_٢$ تقع على خط مستقيم واحد .

٣ ــ زاوية التقاطع الكلية ه = مجموع الزاويتين $\text{ه}_{١}$ ، $\text{ه}_{٢}$ أو بحالة أعم تساوى مجموع الزوايا المركزية للأقواس مهما كان عددها .

٤ ــ طول المماس المشترك = ص ء + ء س = $\text{ف}'_{١} + \text{ف}'_{٢}$

٥ ــ خطا التماس الأول والأخير غير متساويين فى الطول .

٦ ــ المماس المشترك عمودى على الخط الواصل بين المركزين .

٧ ــ أنصاف الأقطار تكون مختلفة ولا يتساوى أى نصفى قطرين متتاليين .

العلاقة بين أجزاء المنحنى المركب :

الكميات التى يستدل بها على المنحنى المركب هى :

نصفا قطرى الجزئين البسيطين $\text{نق}_{١}$ ، $\text{نق}_{٢}$.

طولا المماسين للمنحنى المركب $\text{ف}_{١}$ ، $\text{ف}_{٢}$.

زاويتا الجزئين البسيطين (الزاويتان المركزيتان) $\text{ه}_{١}$ ، $\text{ه}_{٢}$.

زاوية التقاطع الكلية ه .

وتتواجد بين هذه الكميات علاقات أساسية يمكن إستنتاجها من شكل (١٩١) كما يلى :ــ

$$\text{ف}_{١} = \text{ف}'_{١} + (\text{ف}'_{١} + \text{ف}'_{٢}) \frac{\text{جا ه}_{٢}}{\text{جا ه}}$$

$$= \text{نق}_{١} \text{ ظا } \frac{١}{٢}\text{ه}_{١} + (\text{نق}_{١} \text{ ظا } \frac{١}{٢}\text{ه}_{١} +$$

$$+ \text{نق}_{٢} \text{ ظا } \frac{١}{٢}\text{ه}_{٢}) \frac{\text{جا ه}_{٢}}{\text{جا ه}}$$

$$\text{ف}_{١} \text{ جا ه} = \text{نق}_{١} \text{ ظا } \frac{١}{٢}\text{ه}_{١} \text{ جا ه} + \text{نق}_{١} \text{ ظا } \frac{١}{٢}\text{ه}_{١} \text{ جا ه}_{٢} +$$

$$\text{ع}_{٢}\ \text{ظا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢}\ \text{جا}\ \text{هـ}_{٢}$$

$$= \text{ع}_{١}\ \text{ظا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{١}\ (\ \text{جا}\ \text{هـ} + \text{جا}\ \text{هـ}_{٢}\ ) + \text{ع}_{٢} \times$$

$$\frac{\text{جا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢} \times ٢\ \text{جا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢} \times \text{جتا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢}}{\text{جتا}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢}}$$

$$= \text{ع}_{١}\ \frac{\text{جا}\ \tfrac{١}{٢}\ (\ \text{هـ} - \text{هـ}_{٢}\ ) \times ٢\ \text{جا}\ \tfrac{١}{٢}\ (\ \text{هـ} + \text{هـ}_{٢}\ ) \times \text{جتا}\ \tfrac{١}{٢}\ (\ \text{هـ} - \text{هـ}_{٢}\ )}{\text{جتا}\ \tfrac{١}{٢}\ (\ \text{هـ} - \text{هـ}_{٢}\ )}$$

$$+ ٢\ \text{ع}_{٢}\ \text{جا}^{٢}\ \tfrac{١}{٢}\ \text{هـ}_{٢}$$

$$= \text{ع}_{١}\ (\ \text{جتا}\ \text{هـ}_{٢} - \text{جتا}\ \text{هـ}\ ) + \text{ع}_{٢}\ (\ ١ - \text{جتا}\ \text{ع}_{٢}\ )$$

ومنها :

$$\boxed{\text{ف}_{١}\ \text{جا}\ \text{هـ} = \text{ع}_{١}\ [\ (\ ١ - \text{جتا}\ \text{هـ}\ ) - (\ ١ - \text{جتا}\ \text{هـ}_{٢}\ )\ ] + \text{ع}_{٢}\ (\ ١ - \text{جتا}\ \text{هـ}_{٢}\ )}$$

.... (١٣٢)

أو :

$$\boxed{\text{ف}_{١}\ \text{جا}\ \text{هـ} = \text{ع}_{١}\ (\ ١ - \text{جتا}\ \text{هـ}\ ) + (\ \text{ع}_{٢} - \text{ع}_{١}\ )\ (\ ١ - \text{جتا}\ \text{هـ}_{٢}\ )}$$

.... (١٣٣)

وبالمثل :

$$\text{ف}_{٢}\ \text{جا هـ} = \text{نق}_{١}\ [\ (١ - \text{جتا هـ}) - (١ - \text{جتا هـ}_{١})\ ] + \text{نق}_{١}\ (١ - \text{جتا هـ}_{١})$$

(١٣٤) ....

أو :

$$\text{ف}_{٢}\ \text{جا هـ} = \text{نق}_{٢}\ (١ - \text{جتا هـ}) - (\text{نق}_{٢} - \text{نق}_{١})\ (١ - \text{جتا هـ}_{٢})$$

(١٣٥) ....

ولمعرفة جميع أجزاء المنحنى السبعة يجب معرفة أربعة منها وإيجاد الحدود الثلاثة الباقية بحل المعادلتين ،مع المعادلة الآتية ، كمعادلات آنية :

$$\text{هـ} = \text{هـ}_{١} + \text{هـ}_{٢}$$

والأربعة أجزاء المعلومة هى (هـ) دائماً مع ثلاثة أجزاء أخرى مع إحدى الحالات الآتية :

١ ــ نق$_{١}$ ، نق$_{٢}$ ، إحدى الزاويتين (هـ$_{١}$ ، أو هـ$_{٢}$) .

٢ ــ نق$_{١}$ ، نق$_{٢}$ وطول مماس (ف$_{١}$ أو ف$_{٢}$) .

٣ ــ المماسات وزاوية مركزية .

٤ ــ نصف قطر وطول مماس وزاوية مركزية .

٥ ــ طولا مماسين وزاوية مركزية .

٦ ــ نصف قطر ومماس غير مجاور وزاوية مركزية .

وأن كان من المستحسن أن تحل جميع حالات المنحنى المركب على أساس أنها أجزاء من منحنيات بسيطة ، وفى هذه الحالة لا يلزم تطبيق المعادلات السابقة . بل نحل المسائل من العناصر الأولية للمنحنى البسيط ، ويلزم لذلك

أن نصل $م_1$ حـ ، ونسقط من $م_1$ العمود $م_1$ م على $م_2$ ب شكل (١٩٢) وأخيراً نرسم من $م_1$ الخط $م_1$ ك موازياً ب $م_2$ ليقابل ب حـ فى ك . وذلك فى حالة معرفة $ف_1$.

لدينا الآن ثلاثة مثلثات هى ا حـ $م_1$ ، حـ $م_1$ ك ، $م_1$ $م_2$ م يمكن منها استنتاج أية مقادير مطلوبة . وفى حالة معرفة $ف_2$ نصل $م_2$ حـ ، ونسقط من $م_2$ العمود $م_2$ م على م ا ب وأخيراً نرسم من $م_2$ الخط $م_2$ ك موازياً ا $م_1$ ليقابل ا حـ فى ك .

تخطيط المنحنى المركب

من أجزاء المنحنى المركب المعلومة تحسب بقية الكميات اللازمة للتخطيط . نفرض مثلاً أن المعلوم $ف_1$ ، $ع_1$ ، $ع_2$ ، هـ لمنحنى مركب .

ولتخطيط هذا المنحنى تجرى الخطوات التالية :

١ ـــ تحسب المقادير $ف_2$ ، $هـ_1$ ، $هـ_2$ ، $ق_1$ ، $ق_2$.

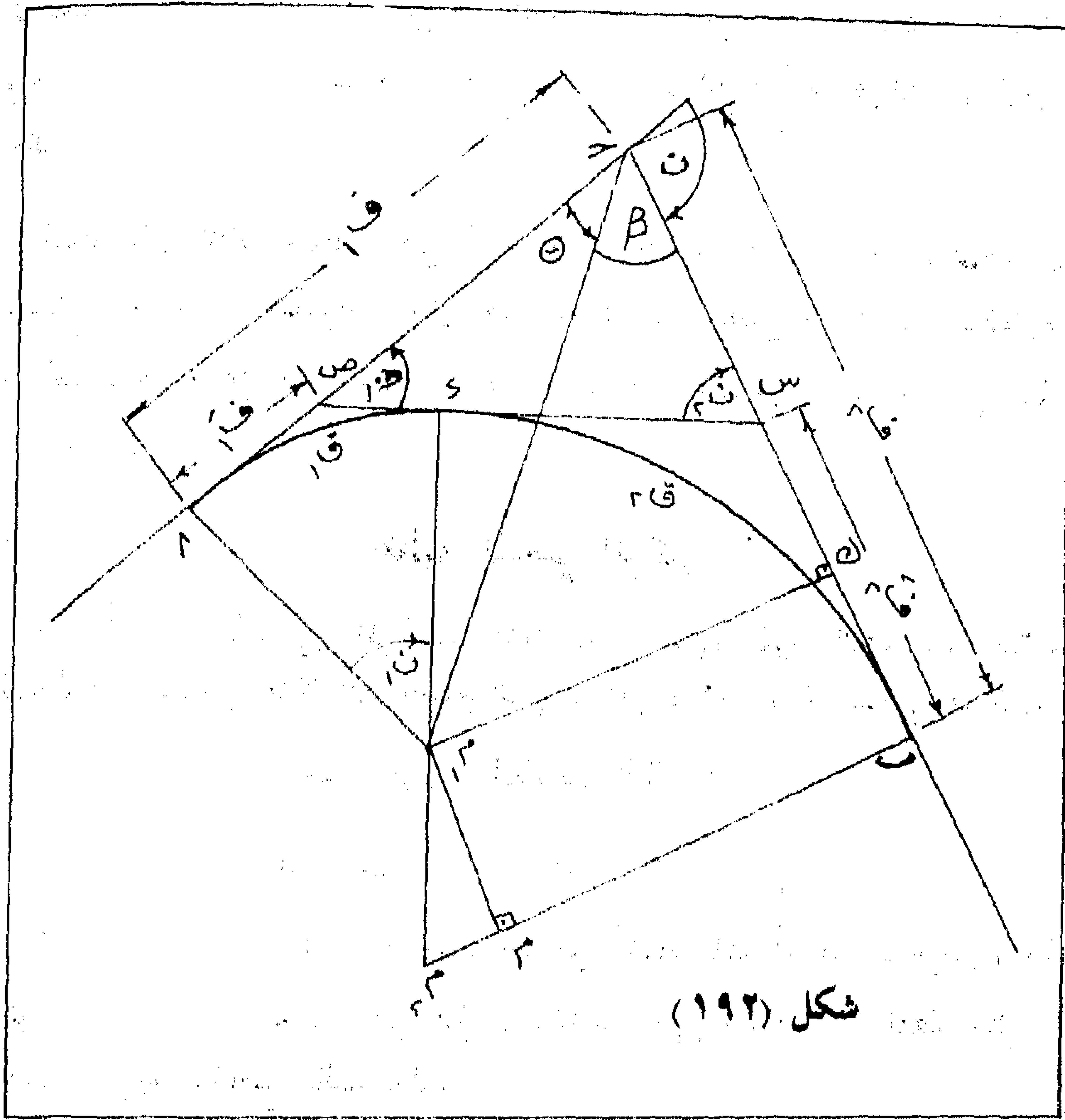
٢ ـــ يوقع المماسان الخارجيان إما من أشياء ثابتة أو من ترافرس (وقد يكون المماسان موجودين من قبل) ونمدها حتى يتقاطعا فى نقطة مثل حـ ونقيس زاوية التقاطع بالتيودوليت .

٣ ـــ تعين نقطتا التماس ا ، ب بقياس $ف_1$ ، $ف_2$ بالشريط على إتجاهى المماسين من حـ .

٤ ـــ تحسب زوايا الانحراف لتخطيط القوس الأول ا ء كمنحنى بسيط ، وكتحقيق للعمل يجب أن تقع ء على زاوية انحراف = $\frac{1}{2}$ $هـ_1$ مع مراعاة وجود أو عدم وجود وتر جزئى عند ا .

٥ ـــ لتخطيط القوس ء ب تحسب زوايا الانحراف كما سبق وتوقع من المماس عند ء مع مراعاة وجود وتر جزئى .

٦ ـــ يوقع القوس ا ء من ا ثم ينقل التيودوليت إلى ء ونعين القراءة



شكل (١٩٢)

(٣٦٠ ـــ $\frac{1}{2}$ هـ$_1$) على الحافة الأفقية ونوجه التيودوليت توجيهاً أساسياً على ا ثم نجرفه ليقرأ صفراً فيكون بذلك مماساً عند ء للمنحنى فى إتجاه المماس المشترك س ص .

٧ ـــ نبدأ فى توقيع النقط على المنحنى ء ب حتى نقطة ب ، ولتحقيق العمل يجب أن تقع ب على زاوية إنحراف مقدارها $\frac{1}{2}$ هـ$_2$.

مثال ١ ـــ المعلوم فى منحنى مركب ما يلى : نق$_1$ = ٤٠٠ متر ، نق$_2$ = ٨٠٠ متر ، ف$_1$ = ٣٥٠,٨٠ متر ، هـ = ٦٣° ٢٩′ .

والطول $س_1$ (أى ذى النصف قطر الأصغر) يأتى أولاً فى إتجاه التدريج .
علماً بأن تدريج نقطة حـ = ٨٠٠٠ متر والمطلوب $ه_1$ ، $ه_2$ ، $ف_2$.

الحـــل :

لايجاد $ه_2$: كل الرموز معلومة فى المعادلة (١٣٢) ما عدا $ه_2$.

وبالحل $ه_2$ = ٢٥′ ٣٩°

ولايجاد $ه_1$ لدينا ه = $ه_1$ + $ه_2$

ولحساب $ف_2$ نستعمل المعادلة (١٣٤) المجهولة فيها $ف_2$ فقط وبالحل ينتج أن $ف_2$ = ٤٥٧,٠٠ متر .

نقيس الطول $ف_1$ من حـ فتتعين نقطة التماس الأولى ا .

تدريج ا	= ٨٠٠٠ — ٣٥٠,٨	= ٧٦٤٩,٢ متراً
$و_1$	= ٠,٠١٧٤٥ $ه_1$ $س_1$	= ١٦٥,٦٠ متراً
تدريج ى	= ٧٦٤٩,٢٠ + ١٦٥,٦٠	= ٧٨١٤,٨٠ متراً
الوتر الجزئى الأخير على القوس $و_1$		= ١٤,٨ متراً
$و_2$	= ٠,٠١٧٤٥ $ه_2$ $س_2$	= ٥٥٥,٠٠ متراً
تدريج نقطة ب	= ٧٨٤١,٨ + ٥٥٥,٠٠	= ٨٣٩٦,٨ متراً

ومن هذه المعلومات يمكن تجهيز جدول زوايا إنحراف تخطيط القوسين كما فى المنحنيات البسيطة .

مثال ٢ — المعلوم فى منحنى مركب المقادير = $س_1$ = ٢٠٠ متر ، $س_2$ = ٤٠٠ م .

$ف_1$ = ٢٠٥ متر ، ه = ٣٠′ ٨٠° والمنحنى يبدأ بالجزء ذى القطر الأكبر وتدريج نقطة التقاطع حـ هو (٦٤) شكل (١٩٢) .

المطلوب تعيين تدريج كل من بداية ونهاية المنحنى ونقطة اتصال المنحنيين وكذلك الكميات اللازمة لتخطيط هذا المنحنى باستعمال طريقة الانحرافات .

الحـــل :

لايجاد تدريج بدء ونهاية المنحنى ونقطة اتصال المنحنيين لابد من الحصول على المقادير $هـ_١$ ، $هـ_٢$ ، $ف_٢$ ، ويمكن اجراء الحل بدون اللجوء إلى معادلات المنحنى المركب كالتالى :

من الشكل (١٩٢) فى المثلث أ حـ $م_١$:

$$\theta = ظا^{-١} \frac{ع_١}{ف_١} = ظا^{-١} \frac{٢٠٠}{٢٠٥}$$

$$\theta = ١٨' \ ٤٤^\circ$$

$$\beta = ١٨٠^\circ - (\theta + هـ) = ١٢' \ ٥٥^\circ$$

فى المثلث حـ ك $م_١$:

$$حـ ك = حـ م_١ \ جتا \ \beta$$

$$= ع_١ \ قتا \ \theta \ جتا \ \beta$$

$$= ٢٠٠ \ قتا \ ١٨' \ ٤٤^\circ \ جتا \ ١٢' \ ٥٥^\circ = ١٦٣,٥ \ مترا$$

$$م_١ ك = حـ ك \ جا \ \beta$$

$$= ٢٠٠ \ قتا \ ١٨' \ ٤٤^\circ \ جا \ ١٢' \ ٥٥^\circ = ٢٣٥,٢ \ متراً$$

$$م \ م_٢ = ب \ م_٢ - ب \ م = ع_٢ - م_١ ك$$

$$= ٤٠٠ - ٢٣٥,٢ = ١٦٤,٨ \ متراً$$

فى المثلث $م_١ م_٢ م$ = $جتا^{-١} \frac{م \ م_٢}{م_٢ م_١} = \frac{١٦٤,٨}{٢٠٠} = ٣١' \ ٣٤^\circ$

$$ومنها \ هـ_١ = ٥٩' \ ٤٥^\circ$$

$$م_١ م = م_١ م_٢ \ جا \ هـ_٢$$

$$= ٢٠٠ \ جا \ ٣١' \ ٣٤^\circ = ١١٣,١٧ \ متر$$

$$ومنها \ ف_٢ = حـ ك + م_١ م$$

= ١٦٣,٥ + ١١٣,١٧ = ٢٧٦,٦٧ مترا

ل$_{١}$ = ,٠١٧٤٥ هـ$_{١}$ ع$_{١}$ = ١٦٠,٤٨ مترا

ل$_{٢}$ = ٠,٠١٧٤٥ هـ$_{٢}$ ع$_{٢}$ = ٢٤٠,٩٣ مترا

تدريج النقطة ب أول المنحنى = تدريج حـ ــ ف$_{٢}$

تدريج النقطة ء اتصال الجزئين=١٠٠٣,٣٣٣+٢٤٠,٩٣=١٢٤٤,٢٦مترا

تدريج نقطة ا نهاية المنحنى=١٢٤٤,٢٦+١٦٠,٤٨=١٤٠٤,٧٤ متر

ومن هذه المعلومات يمكن حساب الوتر الجزئى الأول والأخير وكذلك تجهيز زوايا الانحراف لتخطيط القوسين إبتداء من النقطة ب كما فى المنحنيات البسيطة .

ثانياً ــ المنحنيات العكسية

يتكون المنحنى العكسى من قوسين يختلف اتجاه التقوس فيهما بالنسبة للمماس المشترك ويقع مركزا الجزئين الدائريين كل فى جهة بالنسبة لهذا المماس شكل (١٩٣) ويستعمل هذا النوع من المنحنيات لإيصال طريقين شبه متوازيين أو متوازيين وفى الطرق الفرعية وفى أحواش السكك الحديدية حيث حركة المرور بطيئة جداً نظراً لأن الانعكاس المفاجىء فى الإنحناء غير مرغوب فيه على الإطلاق فى الطرق السريعة وفى هذه الحالة نجد أنه من الضرورى رفع الحد الخارجى فى الطرق والقضيب الخارجى فى السكك الحديدية (وهذا غير ممكن عملياً) لذا يجب أن تتجنب ما أمكن استعمال هذه المنحنيات على الخطوط السريعة وقصر استعمالها كما ذكرنا فى الخطوط الجانبية .

خواص المنحنيات العكسية :

الخواص الهندسية للمنحنيات العكسية تشابه خواص المنحنيات المركبة ما عدا بعض الفروق التى تتلخص فيما يلى :

١ ــ قد يتساوى نصفا القطرين ع$_{١}$ ، ع$_{٢}$ فى المنحنيات العكسية ، أما فى المنحنيات المركبة يجب أن يختلفا وإلا صار منحنياً بسيطاً .

٢ ــ موضع نقطة التقاطع بالنسبة إلى المنحنى غير ثابت فقد تكون نقطة التقابل قبل بدء المنحنى كما فى شكل (١٩٣) أو تكون بعد انتهائه أو بين هذا وذلك كما يجوز أن تقع فى أى جهة بالنسبة إلى المماس المشترك والشكل (١٩٤) يبين ذلك .

شكل (١٩٣)

شكل (١٩٤)

٣ ــ ليس من الضرورى أن يكون المماس ف$_1$ ، هو المجاور للقوس ذى نصف القطر الأكبر كما فى حالة المنحنيات المركبة .

وهناك عدة حالات أخرى تكون فيها مثلاً ى$_1$ أصغر من ى$_2$ ، حـ نقطة تقاطع المماسين إما أن تقع قبل نقطة التماس الثانية ب وفى نفس الجهة التى بها م$_2$ من المماس المشترك أو تقع بعد ب وفى الجهة التى بها م$_2$ من المماس المشترك .

أجزاء المنحنى العكسى :

تعتبر أجزاء المنحنى العكسى شكل (١٩٣) هى تماماً أجزاء المنحنى المركب والمقادير التى يستدل عليها فى المنحنى العكسى هى نفس المقادير للمنحنى المركب والأختلافات الجوهرية بالنسبة لأجزاء كل من المنحنيين هى :

١ ــ زاوية التقاطع الكلية ى = ى$_1$ ــ ى$_2$ فى المنحنى العكسى بينما فى المركب تكون ى = ى$_1$ + ى$_2$.

٢ ــ المماس الكلى ف$_1$ فى المنحنى العكسى فى الاتجاه العكسى فلذا تكون علامته سالبة .

٣ ــ نصف قطر الجزء الثانى نق$_2$ فى إتجاه عكسى لاتجاه نق$_1$ فعلامته سالبة .

العلاقة بين أجزاء المنحنى العكسى :

$$\text{ف}_1 \text{ جا ى} = (\text{نق}_1 + \text{نق}_2) (١ - \text{جتا ى}_2) - \text{نق}_1 (١ - \text{جتا ى}) \quad .... (١٣٦)$$

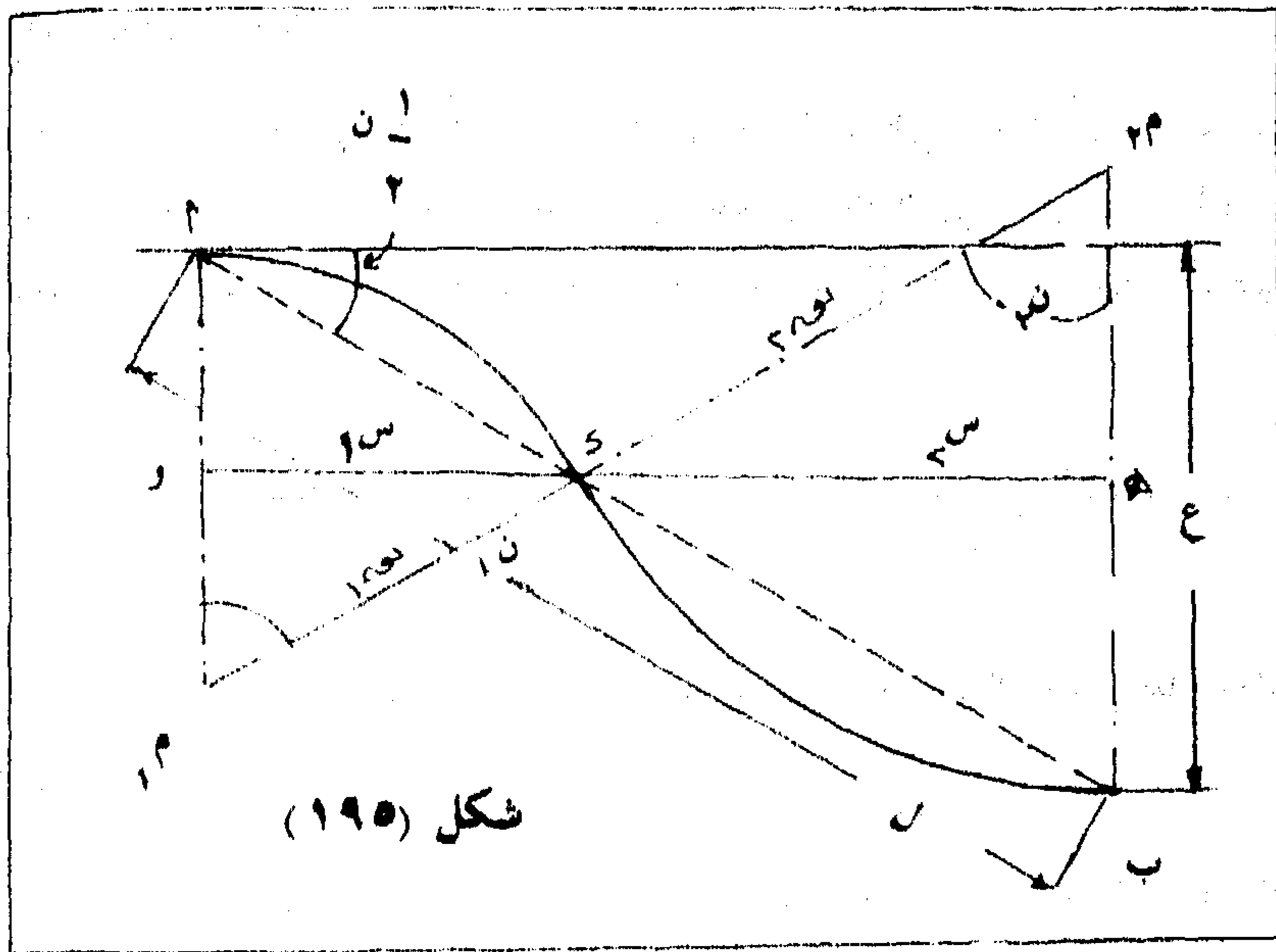
$$\text{ف}_2 \text{ جا ى} = (\text{نق}_1 + \text{نق}_2) (١ - \text{جتا ى}_1) - \text{نق} (١ - \text{جتا ى}) \quad .... (١٣٧)$$

حالة المماسات المتوازية :

فى حالة المماسات المتوازية ، كما فى شكل (١٩٥) نجد أن

ه = صفر ، وطول كل من ف_1 ، ف_2 = مالا نهاية ، ومن ثم لا يمكن تطبيق المعادلتين (١٣٦ ، ١٣٧) .

ومن الناحية العملية ، غالباً ما تكون المسافة العمودية (ع) بين المماسين معلومة .



شكل (١٩٥)

فى شكل (١٩٥) نرسم من نقطة التماس المشتركة ء موازيا المماسين فيقابل م_1 فى و ، م_2 فى هـ .

ع = ا و + هـ ب .

$$= \text{نق}_1 \, (1 - \text{جتا } \text{ه}_1) + \text{نق}_2 \, (1 - \text{جتا } \text{ه}_2)$$

$$\boxed{\text{ع} = (\text{نق}_1 + \text{نق}_2)(1 - \text{جتا } \text{ه}_1)} \quad ...... (١٣٨)$$

أو :

$$1 - \text{جتا}\, هـ_2 = \frac{ع}{ﻫ_1 + ﻫ_2} \qquad \ldots\ldots (139)$$

وفى كثير من الأحوال ، كما فى التقاطعات والتحويلات فى السكك الحديدية يكون نصفا القطرين متساويين وبذا .

فى حالة تساوى نصفى القطرين

$$1 - \text{جتا}\, هـ_1 = \frac{ع}{2\, ﻫ} \qquad \ldots\ldots (140)$$

المسافة هـ و = هـ ء + ء و = $س_1 + ص_1$

$= ﻫ_2$ جا $هـ_1 + ﻫ_1$ جا $هـ_1$

$=$ جا $هـ_1$ $(ﻫ_1 + ﻫ_2)$

فإذا علم نصف القطر فإنه يمكن تعيين نقطة (ء) ومن ثم تخطط المنحنى .

أما إذا علم أحد نصفى القطرين والزاوية المركزية المقابلة له فيمكن إيجاد نصف القطر الثانى ، ومعنى ما سبق أننا إذا عرفنا $ﻫ_1$ ، $ﻫ_2$ ، $هـ_1$ فإننا نحصل على ع ، طول كل من المنحنيين ونوقع كل من المنحنيين حتى نقطة ء المعلوم تدريجها ، من طول المنحنى وتدريج ا .

وكثيراً ما يكون المنحنى العكسى قصيراً نسبياً ، ويمكن الأستفادة بالوتر ا ب فى التخطيط . ففى شكل (195) نجد أن ء تقع دائماً على الخط ا ب وأن طوله = ل .

ا ء = $2\, ﻫ_1$ جا $\frac{1}{2} هـ_1$

$$ء ب = ٢ \, س_{٢} \, جا \frac{١}{٢} هـ$$

ومنها :

$$س_{٢} = \frac{ل}{٢ \, جا \frac{١}{٢} هـ_{١}} - س_{١} \qquad ...... (١٤١)$$

$$ا ب = ٢ \, جا \frac{١}{٢} هـ_{١} \, (س_{١} + س_{٢}) = \frac{٢ \, ع}{ا ب} \, (س_{١} + س_{٢})$$

ومنها :

$$ل = \sqrt{٢ \, ع \, (س_{١} + س_{٢})} \qquad ...... (١٤٢)$$

أو :

$$س_{٢} = \frac{ل^{٢}}{٢ \, ع} - س_{١} \qquad ...... (١٤٣)$$

وفى حالة تساوى نصفى القطرين .

$$س = \frac{ل}{٤ \, جا \frac{١}{٢} هـ_{١}} \qquad ...... (١٤٤)$$

وعموماً تخطيط المنحنى العكسى يتم كالمنحنيات السابقة تماماً بعد حساب الكميات اللازمة للتخطيط .

أمثـــلة

مثال ١ ــ يراد توصيل خطين متوازيين المسافة العمودية بينهما ٣٠ متراً بمنحنى عكسى ، علماً بأن نصف القطر الأكبر $\text{نق}_{٢}$ = ٨٥٣,٥ متراً وطول الوتر = ٣٠٠ متراً ما قيمة $\text{نق}_{١}$ نصف قطر المنحنى الأصغر والزاوية المركزية $\text{هـ}_{١}$.

الحـــل :

$$\text{نق}_{١} = \frac{(\text{٣٠٠})^{٢}}{\text{٦٠}} - \text{٨٥٣,٥} = \text{٦٤٦,٥ متراً}$$

$$\text{١} - \text{جتا هـ}_{١} = \frac{\text{٣٠}}{\text{٨٥٣,٥} + \text{٦٤٦,٥}} = \frac{\text{٣٠}}{\text{١٥٠٠}} = \text{٠,٠٢}$$

$$\text{هـ}_{١} = \text{١١° ٣٩'} .$$

حـل آخـــر :

$$\frac{\text{هـ}_{١}}{\text{٢}} = \text{جا}^{-١} \frac{\text{٣٠}}{\text{٣٠٠}} = \text{٥° ٤٤,٥'} .$$

$$\text{هـ}_{١} = \text{١١° ٢٩'}$$

$$\text{نق}_{١} = \frac{\text{ل}}{\text{٢ جا} \frac{\text{١}}{\text{٢}} \text{هـ}_{١}} - \text{نق}_{٢}$$

$$\text{نق}_{١} = \frac{\text{٣٠٠}}{\text{٢} \times \text{٠,١}} - \text{٨٥٣,٥}$$

$$= \text{١٥٠٠} - \text{٨٥٣,٥} = \text{٦٤٦,٥ متراً}$$

مثال ٢ ــ منحنى مركب من قوس نصف قطره ٣٠ جنزيراً يتبعه آخر بنصف قطر يساوى ٤٠ جنزيراً . يراد إيصال المماسين الذين زاوية تقاطعها

٢٢ ′ ٨٤° بهذا المنحنى مع العلم بأن تدريج نقطة تقاطع المماسين ٧٧,٦٤ جنزيراً . وقد أختيرت نقطة ابتداء المنحنى عند ٤٥,١٤ جنزيرا . أحسب تدريج نقطة اتصال القوسين وتدريج نقطة انتهاء المنحنى .

الحـــــل :

ف$_1$ = ٧٧,٦٤ — ٤٥,١٤ = ٣٢,٥٠ جنزير

ف$_1$ جا ه = ع$_1$ (١ — جتا ه) + (ع$_2$ — ع$_1$) (١ — جتا ه$_2$)

٣٢,٥٠ جا٢٢ ٨٤°= ٣٠(١ - جتا٢٢ ٨٤°)+(٤٠ - ٣٠)(١ - جتاه$_2$)

٣٢,٥٠ × ٠,٩٩٥٢ = ٣٠ (١ — ٠,٠٩٨٢) + ١٠ — ١٠ جتا ه$_2$

جتا ه$_2$ = ٠,٤٦٢٢١

ه$_2$ = ١٢,٦″ ٢٨′ ٦٢°

ه$_1$ = ٤٧,٤″ ٥٣′ ٢١°

القوس أ ء = ٠,٠١٧٤٥ × ٣٠ × ٢١,٨٩٦٥
= ١١,٤٦٢٨

تدريج ء = ٤٥,١٤ + ١١,٤٦٢٨ = ٥٦,٦٠٣ جنزير

القوس ء ب = ٠,٠١٧٤٥×٤٠×٦٢,٤٧٠١٦=٤٣,٦٠٤١٧ جنزير

تدريج ب = ٥٦,٦٠٣ + ٤٣,٦٠٤ = ١٠٠,٢٠٧ جنزير

ويمكن حل هذا المثال بدون استعمال قوانين المنحنيات المركبة

فسوف نجد أن θ = ظا$^{-1}$ $\frac{٣٠}{٣٢,٥٠}$ = ٣٣,٨″ ٤٢′ ٤٢°

β = ٢٦,٢″ ٠١′ ٥٣°

م$_2$ ك = ٣٥,٢٧٧ ومنها ه$_2$ = ٢٨′ ٦٢° ه$_1$ = ٥٣′ ٢١°

مسائـــل

١ ــ منحنى مركب فيه $ن_١$ = ٢٥ جنزير ، $ن$ = ٤٥ جنزير ، $ف_١$ = ٢٠,٥ جنزير ، ى = ٣٠′ ٧٠°. عين (بدون استخدام قوانين المنحنى المركب) المماس $ف_٢$.

٢ ــ منحنى مركب ا ب حـ ، نصف قطر القوس ا ب = ٦٠ جنزير ونصف قطر القوس ب حـ = ٤٠ جنزير ، قيست زاوية التقاطع فكانت ٣٦′ ٣٦° فإذا كان طول القوس ا حـ = ٣٠ جنزيراً ــ عين طول كل من المماسين الأصليين .

٣ ــ منحنى بسيط نصف قطره ٣٠ جنزير يتصل بمنحنى آخر نصف قطره ٢٠ جنزير وزاوية تقاطع المماس الأول مع المماس الأخير للمنحنى المركب ١٢٠° (أى زاوية التقاطع) وكانت الزاوية بين المماس المشترك والمماس الأصغر ٤٠° وتدريج نقطة تقاطع مماسى المنحنى المركب (٦٢,٠٠) . عين ــ تدريج نقطة تلاقى المنحنيين ــ زاوية انحراف وتدريج النقطة الأولى على المنحنى الأول .

ولا تستعمل أى قوانين للمنحنى المركب .

٤ ــ المعلوم فى منحنى مركب ا ى ب المقادير $ن_١$ = ٣٠٠ متر ، $ن_٢$ = ٦٠٠ متر المماس ا حـ = ٣١٠ متر ، ى = ٨٤° والمنحنى يبدأ بالجزء ذى القطر الأصغر وتدريج نقطة التقاطع حـ هو (١٠٠) ــ والمطلوب تعيين كل من تدريج بداية ونهاية المنحنى ا ، ب وكذلك نقطة اتصال المنحنيين ى ــ وإذا إستبدل المنحنى المركب بآخر بسيط يمس الثلاث مستقيمات كما فى المنحنى السابق فما هو نصف القطر فى هذه الحالة .

٥ ــ ا حـ ، ب حـ محورا طريقين يتقاطعان فى حـ التى لا يمكن احتلالها لذا أختيرت نقطتا س ، ص على كل من ا حـ ، ب حـ على الترتيب وأخذت الأرصاد التالية الخط ا حـ ، انحرافه ٤٨° ، حـ ب أنحرافه ١٠٨° ، س ص

انحرافه ٥٧٦° وطوله ٦٠ متر . ويراد ايصال الطريقين بمنحنى ا ء ب مركب من منحنيين بسيطين متساويين فى الطول ، الأول ا ء نصف قطره = ٦٠٠ متر والثانى نصف قطره = ٤٠٠ متر . فإذا كان تدريج س على ا حـ هو ٨٠ جنزير فعين تدريج البداية والأتصال ء ، وطول العمود اللازم لتعيين ء بأمتداد الوتر السابق بداية من ا ــ وإذا استبدل هذا المنحنى المركب بمنحنى دائرى بسيط يمس الطريقين ا حـ ، حـ ب ، والمماس المشترك للمنحنى المركب فما هو مقدار اختلاف فى التدريج لنقطة البداية .

٦ ــ ا ب ، ء حـ محورا خطى سكة حديد يراد ايصالهما بمنحنى مركب ب حـ يتركب من جزئين ب و ، و حـ بحيث يكون نصف قطر الجزء ب و هو ٤٠٠ متر .

فإذا كانت أحداثيات نقطة ب هى ٤٠٠ شمالاً ، ٢٠٠ شرقاً
نقطة حـ ٥٩٣ شمالاً ، ٥٣٦ شرقاً

وانحرافات الخطوط ا ب ، ء حـ هما ٣٠ َ ٥٢٥° ق ، ٣٠ َ ٣ ٥٧٦° غ على الترتيب فعين أحداثيات نقطة اتصال الجزئين و ونصف قطر الجزء الثانى بدون استعمال قوانين المنحنى المركب .

الجواب : $نق_٢$ = ٢٥٦,١ مترا احداثيات و ٣٧٥ شرقاً ، ٥٥١ شمالاً

٧ ــ حـ ء مماس مشترك لجزئى منحنى ا حـ ، ء ب

المنحنى الأول ا حـ يمس ا م ، حـ ء المنحنى الثانى ء ب يمس حـ ء ، ب هـ فإذا كان انحراف الخط م ا هو ١٣ َ ٥١٦٥° والخط ب هـ ٢٠ َ ٥١٣٥° .

نق للمنحنى ا حـ هو ٧٥٠ متراً ، نق للمنحنى ء ب هو ١٢٠٠ متراً .

وأحداثيات نقطة ا هى ١٢٦٥,٥ شرقاً ، ١٢٠٠ جنوباً ونقطة ب هى الأصل ــ فعين أحداثيات نقطتى حـ ، ء .

الجواب : احداثيات حـ ١٥٦٢,٥٠ شرقاً ، ١٣٥٨,٦ جنوباً ، ء ٥٧,٣٠ شرقاً ، ٥٣,١ جنوباً .

٨ ــ منحنى عكسى ا ب يراد توقيعه بين خطى سكة حديد متوازيين يبعدان عن بعضهما بمقدار ٣٠ متراً فإذا كان نصف القطرين متساوين والمسافة بين نقطتى التماس ا ب هى ١٢٠ مترا فعين نصف القطر .

٩ ــ خطين متوازيين المسافة بينهما ٧٨٠ متر يراد إيصالهما بمنحنى عكسى ا ب حـ ينحرف يميناً زاوية ٢٠° عن الخط الأول وكان نصف قطر الجزء ا ب ٤٠٠ متر وتدريج ا ٢٣٤٠ متر عين نصف القطر للجزء الثانى من المنحنى ب حـ وتدريج كل من ب ، حـ .

١٠ ــ منحنى عكسى يصل بين خطيه ا ب ، حـ ء يبدأ الجزء الأول للمنحنى عند نقطة ب والجزء الثانى عند حـ فإذا كان نصفا القطرين متساويين وانحراف الخط حـ ء هو س ٤١″ ١٤′ ٢٠° ق فعين نصف القطر لهذا المنحنى علماً بأن أحداثيات ا ، ب ، حـ هى على التوالى .

ا	٢١٦٤٢,٨٧ شرقاً	٣٧١٦٠,٣٦ شمالاً
ب	٢١٦٧٢,٨٤ شرقاً	٣٧٢٤١,٦٢ شمالاً
حـ	٢١٩٥١,٦٣ شرقاً	٣٧٣٥٠,٤٤ شمالاً

١١ ــ ا ب ، حـ ء خطان مستقيمان بحيث أن ا ، ء يقعان على جانبى المماس المشترك ب حـ ــ يراد توصيل ا ب ، حـ ء بمنحنى عكسى نصف قطريه متساويين فإذا علم أن الزاويتين ا ب حـ ، ب حـ ء هما ٤٠′ ١٤٨° ، ٢٠′ ١٢٩° على التوالى وطول المماس المشترك ب حـ هو ١٦,٢٨ ــ أوجد نصف القطر ــ وتدريج نقطة التماس ونقطة التماس المشتركة علماً بأن إتجاه المنحنى العكسى من ا إلى ء وتدريج ب هو (١٤٥,٢٠) .

١٢ ــ منحنى عكسى يصل بين خطى سكة حديد متوازيين المسافة بينهما ٧٦,٥ متر فإذا كان الوتر الكلى للمنحنى الأول يساوى ثلث المسافة بين نقطتى التماس على الخطين وكان التدريج لنقطة إبتداء المنحنى ذى القطر الأكبر هو (١٦,٤٤) فما هو نصف القطر والمسافة بين نقطتى التماس إذا كانت

الزاوية المركزية للقوس ٤٢′ ٥٤٨ ــ عين أيضاً نقطة التماس المشتركة وزاوية انحراف توقيع آخر نقطة على المنحنى الأول والثانى من المماس .

١٣ ــ منحنى عكسى يصل بين خطين ا ب ، حـ ء بأنصاف أقطار متساوية ويمس الخطين عند ب ، حـ بإحداثيات قدرها كالآتى :

النقطة	أفقى	رأسى
ب	+ ١١٢٥	ا ١٤٩١
حـ	+ ٢٤٠١	ا ٦٥١

فإذا كان انحراف ا ب هو ٠٠ ١٥′ ٨٣° ق

وانحراف ب حـ هو حـ ٣٠′ ٧٤° ق

فعين قيمة نصف القطر .

الباب التاسع عشر
المنحنيات الانتقالية
(TRANSITION CURVES)

مقدمـــة :

تتسبب من مرور وسائل النقل على المنحنيات قوة طاردة مركزية تؤثر عليها وتعمل على قذفها خارج المنحنى وللتخلص من تأثير هذه القوة يستدعى الأمر أن يعلى القضيب الخارجى فى حالة السكك الحديدية أو سطح الطريق فى الجزء الخارجى من المنحنى لكى نجعل محصلة القوة الطاردة المركزية وثقل القطار أو السيارة تعمل فى منتصف المسافة بين القضيبين ، وبالتالى تكون موزعة بالتساوى بينهما فيتلاشى تأثير القوة المركزية فى دفع القطار إلى الخارج .

وحيث أنه لا توجد ضرورة لهذه التعلية عند نقطة التماس فضلاً عن أنه لا يمكن وضع هذه التعلية دفعة واحدة بعد نقطة التماس مباشرة فيجب إذن التدريج فى التعلية بعد نقطة التماس مباشرة حتى نصل إلى المقدار المحسوب عند منتصف المنحنى ثم نبتدىء ثانية فى الأنخفاض التدريجى حتى نقطة التماس الثانية .

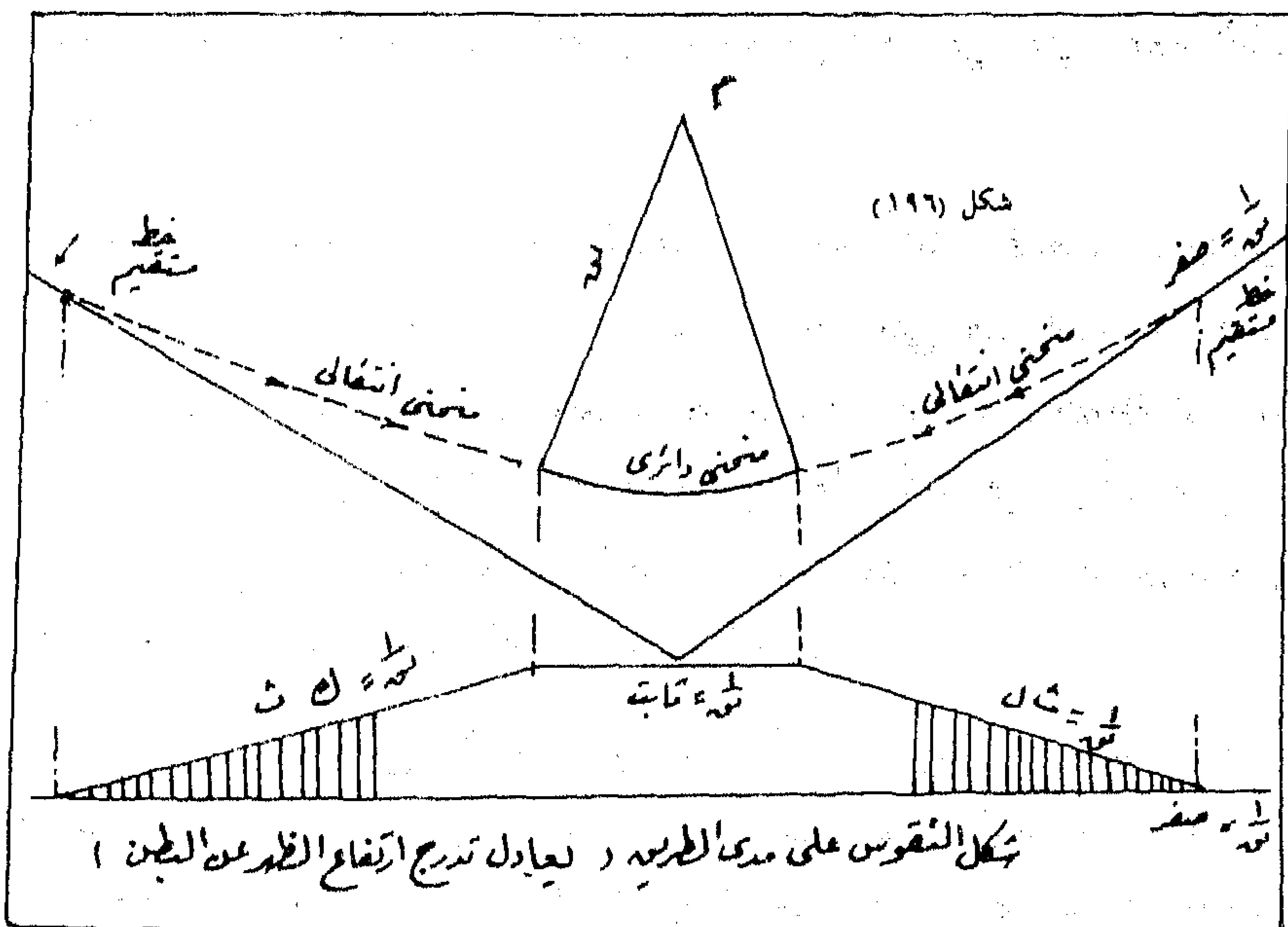
وحيث أن التعلية تبتدىء من الصفر عند نقطة التماس فيجب أن يبتدىء نصف قطر المنحنى من ما لا نهاية ويتناقص تدريجياً حتى تصل التعلية إلى قيمتها الكلية المحسوبة فيكون نصف القطر أصغر ما يمكن عند هذه النقطة ثم يأخذ بعدها فى الإزدياد بالتدريج ثانية تبعاً لانخفاض التعلية التدريجى إلى أن يصل إلى مقداره الأصلى عند نقطة التماس الأخرى ، ويتم ذلك بإدخال جزءى منحنى إنتقالى عند كل من نقطتى التماس للجزء الدائرى .

وعموماً فإن منحنى الانتقال هو منحنى غير دائرى يتغير نصف قطره تدريجياً من أى نقطة عالية إلى نقطة أخرى ، ويبدأ نصف القطر من ما لا نهاية عند نقطة التماس ويصغر تدريجياً إلى أن يصل طول نصف قطر المنحنى الأصلى عند نقطة إتصاله بهذا المنحنى الدائرى . شكل (١٩٦) .

أغراض استعمال منحنيات الأنتقال :

١ ـــ تستعمل منحنيات الأنتقال فى كثير من أعمال الطرق وخصوصاً الطرق السريعة (Highways) والسكك الحديدية للتخلص من تغيير الأنحناء الفجائى الناتج من الأنتقال من خط مستقيم إلى منحنى كما فى حالة المنحنيات البسيطة أو من منحنى إلى آخر يختلف عنه فى نصف القطر أو فى أختلاف الأنحناء كما فى المنحنيات المركبة والعكسية وجعل هذا الأنتقال تدريجياً يبدأ بتقوس المنحنى البسيط الأول وينتهى بتقوس المنحنى البسيط الثانى وذلك حتى لا تحدث هزات فجائية عنيفة لتولد أو تلاشى القوة الطاردة المركزية فجأة .

٢ ـــ إيجاد وسيلة مرضية لزيادة تعلية القضيب الخارجى أو الحد الخارجى من الصفر على المماس إلى القيمة المطلوبة على المنحنى ، أو بمعنى آخر عدم التغيير المفاجىء فى تدريج أرتفاع الظهر عن البطن فى المسافات الدائرية فيتناسب الأرتفاع مع تقوس المنحنى الأنتقالى حتى يبلغ أقصاه فى المنحنى الدائرى .



شكل (١٩٦)

٣ ـــ تعبر أحسن الوسائل لتوسيع الطرق فى المنحنيات إذ أن هذا التوسع عند المنحنيات مرغوب فيه جداً لقيادة السيارات بأمان .

٤ ـــ تقليل النحر ومساعده الملاحة فى القنوات .

أدخال المنحنيات الانتقالية :

يتم إدخال المنحنيات الانتقالية فى حالات كثيرة أهمها :

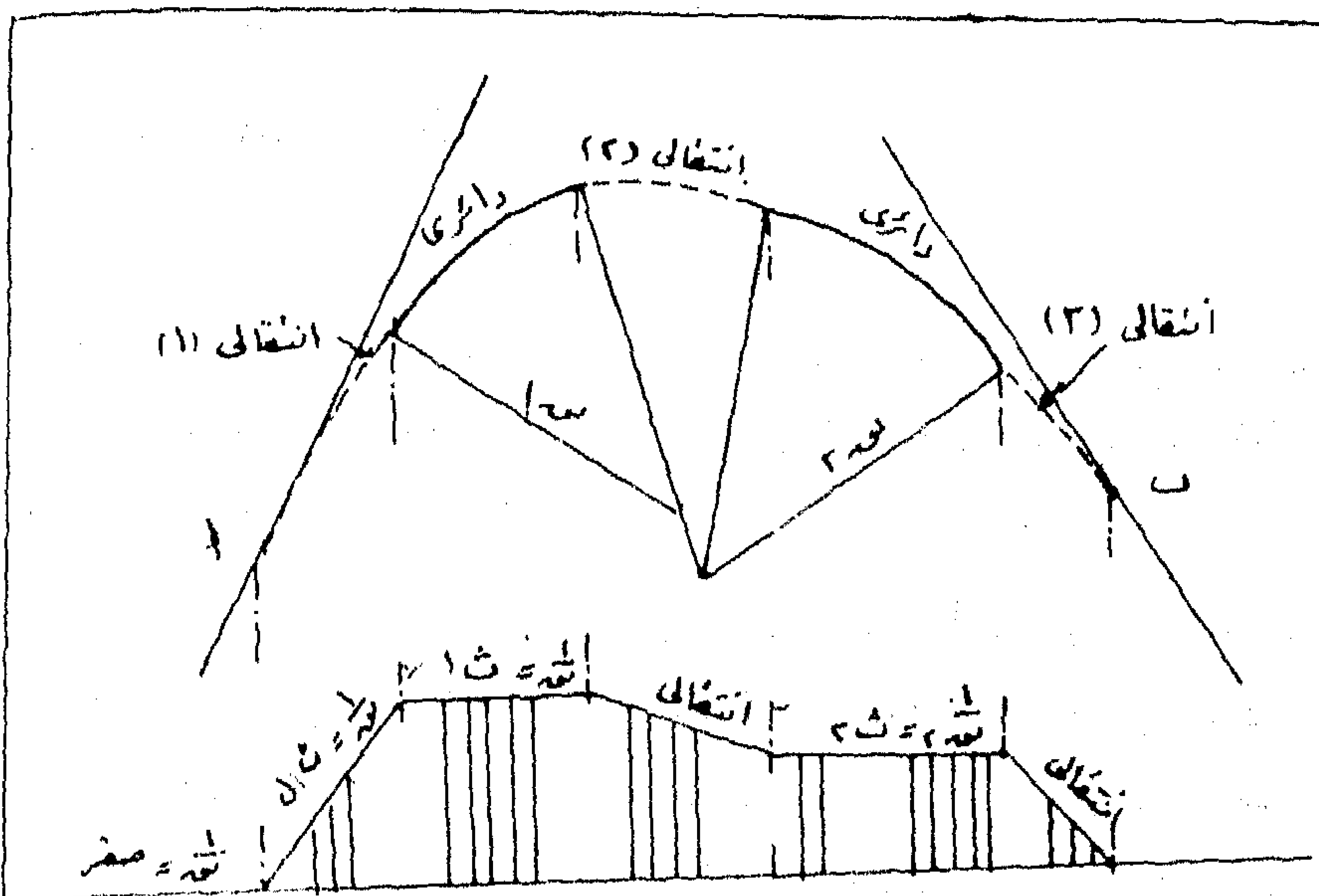
١ ـــ أتصال جزء مستقيم بجزء دائرى تقوسه محدود (فى المنحنى الدائرى البسيط) شكل (١٩٦) وفيه يتم إدخال جزئين إنتقاليين (١)،(٢)، عند نقطتى التماس ويتوسطهما الجزء الدائرى .

٢ ـــ إتصال جزئين دائريين تقوسهما مختلف القيمة (فى المنحنيات المركبة) وفيه يتم إدخال ثلاثة أجزاء أنتقالية شكل (١٩٧) . والجزء الإنتقالى الأوسط (٢) يبتدىء من أحد طرفيه بنصف قطر مساو لنصف قطر القوس الدائرى المتصل بهذا الطرف وينتهى عند اتصاله بالقوس الدائرى الثانى بنصف قطر مساو لنصف قطر هذا القوس حتى لا يتغير التقوس فجأة من $\frac{١}{س_١}$ إلى $\frac{١}{س_٢}$.

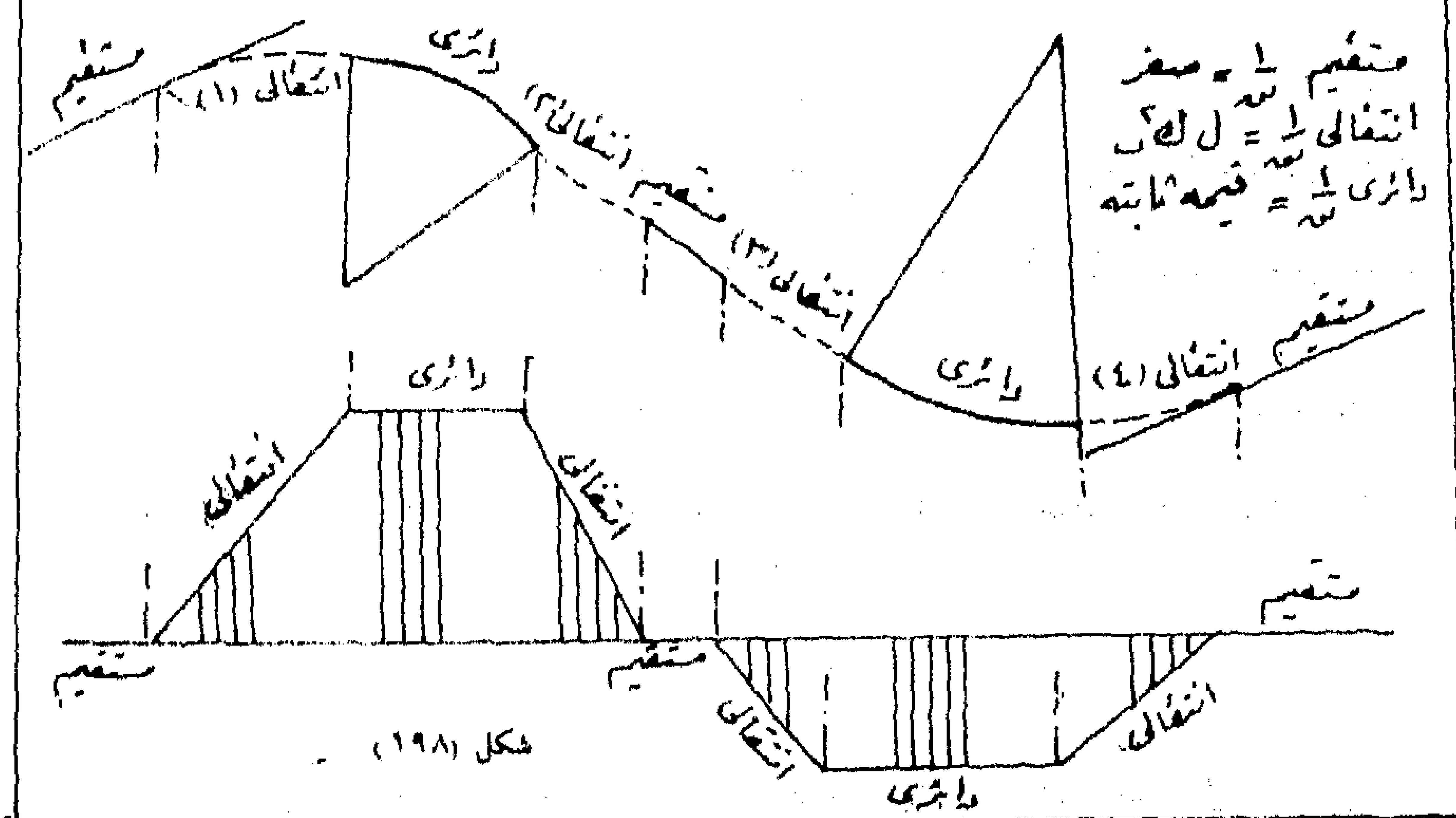
أما الجزئين الأخيرين فهما يصلان نقطتى التماس بالجزئين الدائريين فيتم إدخال منحنى أنتقالى (١) بين نقطة التماس أ والجزء الدائرى $\frac{١}{س_١}$ ، ويبتدىء بنصف قطر مالا نهاية عند نقطة أ وينتهى بنصف قطر $س_١$ ، أما الجزء الانتقالى (٣) فيتم إتصاله بين الجزء الدائرى الثانى $\frac{١}{س_٢}$ ويبتدىء عنده بنصف قطر $س_٢$ وينتهى عند نقطة التماس الثانية ب بنصف قطر لا نهائى .

٣ ـــ أتصال جزئين دائريين تقوسهما مختلف القيمة والأتجاه (فى المنحنيات العكسية) وغرض المنحنيات الأنتقالية فى هذه الحالة هو ربط أجزاء المنحنى

العكسى بحيث لا يتغير التقوس مقداراً وإتجاهاً فجأة من قيمة إلى أخرى . ففى شكل (١٩٨) نجد أننا أدخلنا أربعة أجزاء أنتقالية والغرض منها هو :



شكل (١٩٧)



شكل (١٩٨)

الجزء ١ ، ٤ لأتصال نقطتى التماس بالجزئين الدائريين . ونظرا لأن الجزئين الدائريين يختلف أتجاه تقوسهما بالنسبة للمماس المشترك فقد وضع جزء مستقيم بينهما وتم إدخال جزئين انتقاليين ٢ ، ٣ لتلافى تغيير أتجاه التقوس .

٤ ـــ أتصال جزئين مستقيمين وتعتبر هذه حالة خاصة من الحالة الأولى حيث لا يتوسط الجزئين الأنتقاليين منحنى بسيط وتتم هذه الحالة عند صفر الجزء الدائرى شكل (١٩٩) .

٥ ـــ أتصال ثلاث مستقيمات وهى حالة خاصة من الحالة الثالثة حيث لا يتوسط الجزئين الأنتقاليين منحنى عكسى وتتم هذه الحالة عند صفر الجزئين البسيطين الدائريين المكونين للمنحنى العكسى شكل (٢٠٠) .

٦ ـــ إتصال طريقين بعدة منحنيات انتقالية فى مستويات مختلفة شكل (٢٠١) .

شروط أدخال المنحنى الأنتقالى :

يشترط فى حالة إدخال المنحنى الأنتقالى على أجزاء المستقيم والمنحنيات الدائرية ما يلى :

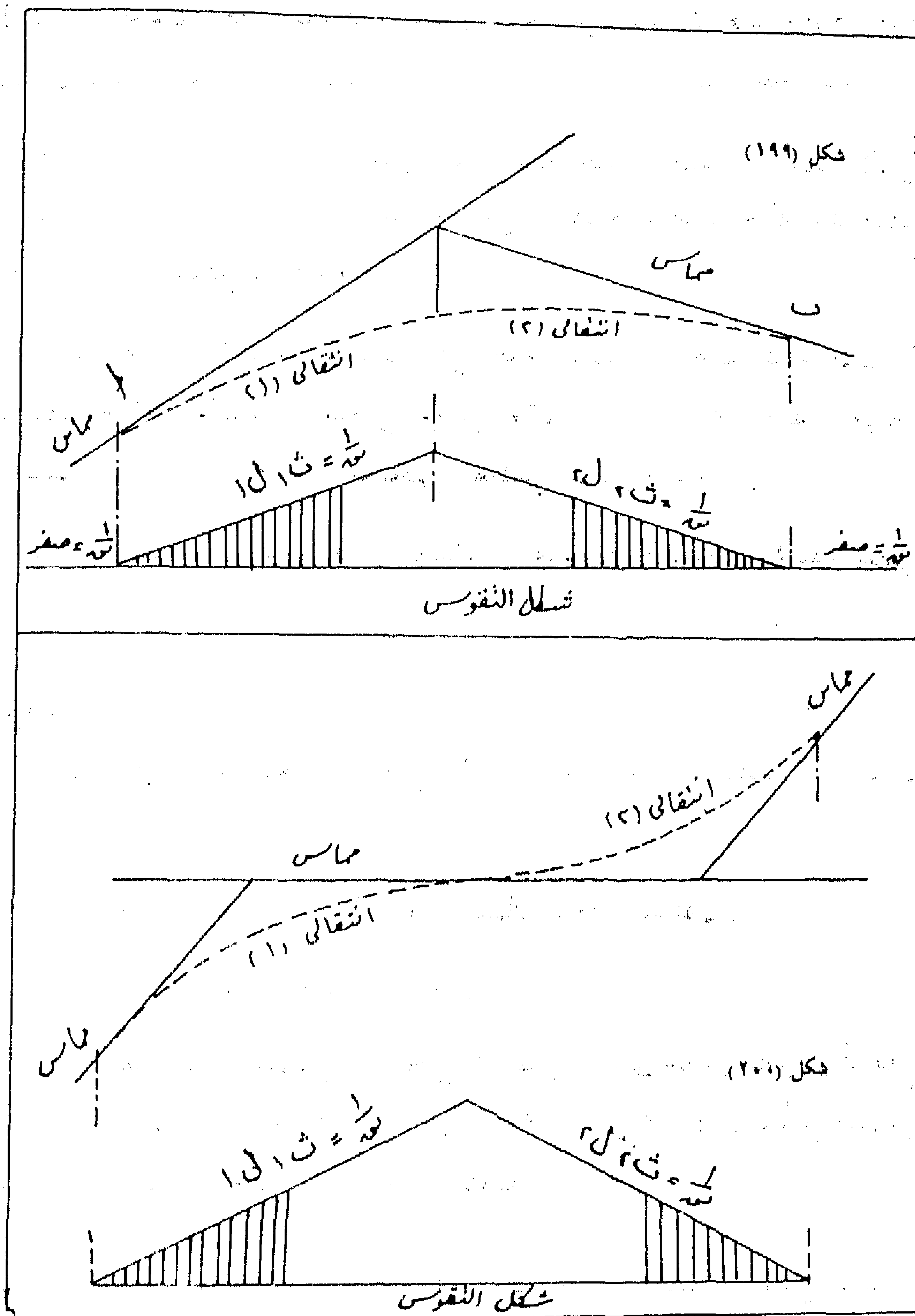
١ ـــ تماس المنحنى الأنتقالى عند اتصاله بالجزء المستقيم .

٢ ـــ تقوس المنحنى الأنتقالى يساوى تقوس الجزء المستقيم يساوى صفر .

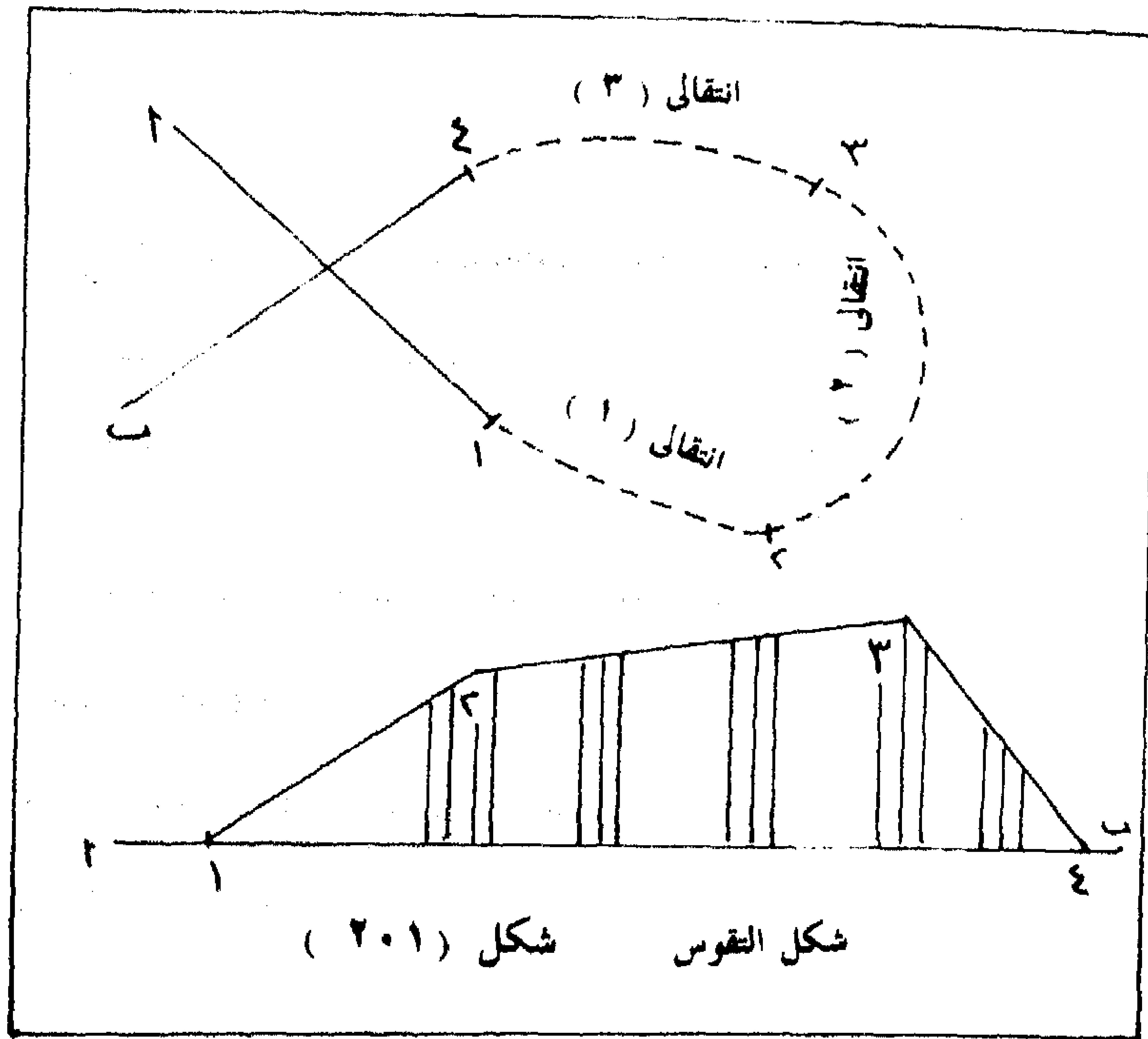
٣ ـــ معدل تغير التقوس فى المنحنى الأنتقالى يساوى معدل التغير فى أرتفاع الظهر عن البطن فنلاحظ فى الأشكال (١٩٦ ـــ ١٩٨) أن شكل التقوس على مدى الطريق يعادل تدرج قيمة التعلية .

٤ ـــ تبلغ التعلية (Superelevation) أقصاها عند أتصال المنحنى الأنتقالى بالمنحنى الدائرى .

٥ ـــ تقوس المنحنى الأنتقالى يساوى تقوس المنحنى الدائرى عند نقطة تلاقيهما .



شكل (١٩٩)
مماس
ب
انتقالى (٢)
انتقالى (١)
أ
مماس
$\frac{1}{نق}$ = ث١ ل١
$\frac{1}{نق}$ = ث٢ ل٢
$\frac{1}{نق}$ = صفر
$\frac{1}{نق}$ = صفر
شكل التقوس
مماس
انتقالى (٢)
مماس
انتقالى (١)
مماس
شكل (٢٠٠)
$\frac{1}{نق}$ = ث١ ل١
$\frac{1}{نق}$ = ث٢ ل٢
شكل التقوس



شكل (٢٠١)

أنواع المنحنيات الأنتقالية

هناك منحنيات كثيرة يتوافر فيها شرط تغير نصف قطر التقوس تدريجياً ولكل منها معادلة رياضية خاصة ، وهذه المنحنيات غير منتظمة التقوس وجميعها من ذوات الحدود المسلسلة التى يتعذر تطبيقها فى الحالات العملية ، والأجزاء الأولى من هذه المنحنيات لا تختلف فى الشكل عن المنحنى الأنتقالى النموذجى إلا إختلافاً طفيفاً . وأهم أنواع المنحنيات الأنتقالية المستخدمة هى :

١ ـــ منحنى الأنتقال الحلزونى .
٢ ـــ القطع المكافىء التكعيبى .
٣ ـــ منحنى برنولى القطبى .

والمنحنيان الأولان هما الأكثر إستعمالاً .

وتنقسم دراسة منحنيات الأنتقال إلى جزئين أساسيين .

أولاً ــ أجزاء المنحنى وعناصره ومعادلاته .

ثانياً ــ تخطيط المنحنى وربطه بمحاوره مع أجزاء المنحنيات الأخرى وتوقيعه .

١ ــ منحنى الأنتقال الحلزونى (Transition Spiral Clothoid)

يستعمل هذا المنحنى فى تخطيط الطرق السريعة (Highways) وهو أدق المنحنيات جميعها . وأهم خصائصه أنه ينطبق على خط سير السيارة وهى مسرعة (١٢٠ ــ ١٨٠ كم/ساعة) بحيث يتساوى مقدار إنحراف عجلة القيادة مع زاوية تغير هذا المنحنى عند سرعة ثابتة .

معادلة المنحنى الحلزونى :

معلوم أن تقوس الخط المستقيم هو صفر .

حيث نق = مالا نهاية $\therefore \frac{١}{نق} =$ صفر

وجزء المنحنى الدائرى فإن تقوسه ثابت $\frac{١}{نق} =$ ثابت

أما المنحنى الحلزونى فهو منحنى يتناسب تقوسه مع طول المنحنى ، فإذا كان تقوس المنحنى فى نقطة ما هو $\frac{١}{نق}$ وطول المنحنى عند هذه النقطة هو ل .

فيكون :

نق ل = ثابت

وحيث أن نق طول ، ل طول فيمكن كتابة ثابت المعادلة على هيئة $ك^{٢}$.

$$\therefore نق\ ل = ك^{٢} = ثابت \quad ..... (١٤٥)$$

حيث ك ثابت المنحنى (Parameter) .

أى أن طول المنحنى عند أى نقطة ، يتناسب مع مقدار التقوس عند هذه النقطة . ك يسمى ثابت المنحنى .

$$\text{التقوس} \quad \frac{١}{ع\ ب} = \frac{ء\ هـ}{ء\ ل} \quad \therefore \quad \frac{ل}{ع\ م} = \frac{ء\ هـ}{ء\ ل}$$

$$ء\ هـ = \frac{ل\ (ء\ ل)}{ع\ م} \quad \therefore \quad هـ = \frac{ل^٢}{٢\ ع\ م} + حـ$$

عندما تكون ل = صفر فإن هـ = صفر ، حـ = صفر .

$$هـ = \frac{ل^٢}{٢\ ع\ م}$$

$$ل^٢ = ٢\ ع\ م \ . \ هـ = ٢\ ك^٢\ هـ \qquad ...... (١٤٦)$$

وهذه هى المعادلة القطبية للمنحنى الحلزونى .

وفى شكل (٢٠٣) :

$$م^٢ = ٢\ ك^٢\ هـ$$

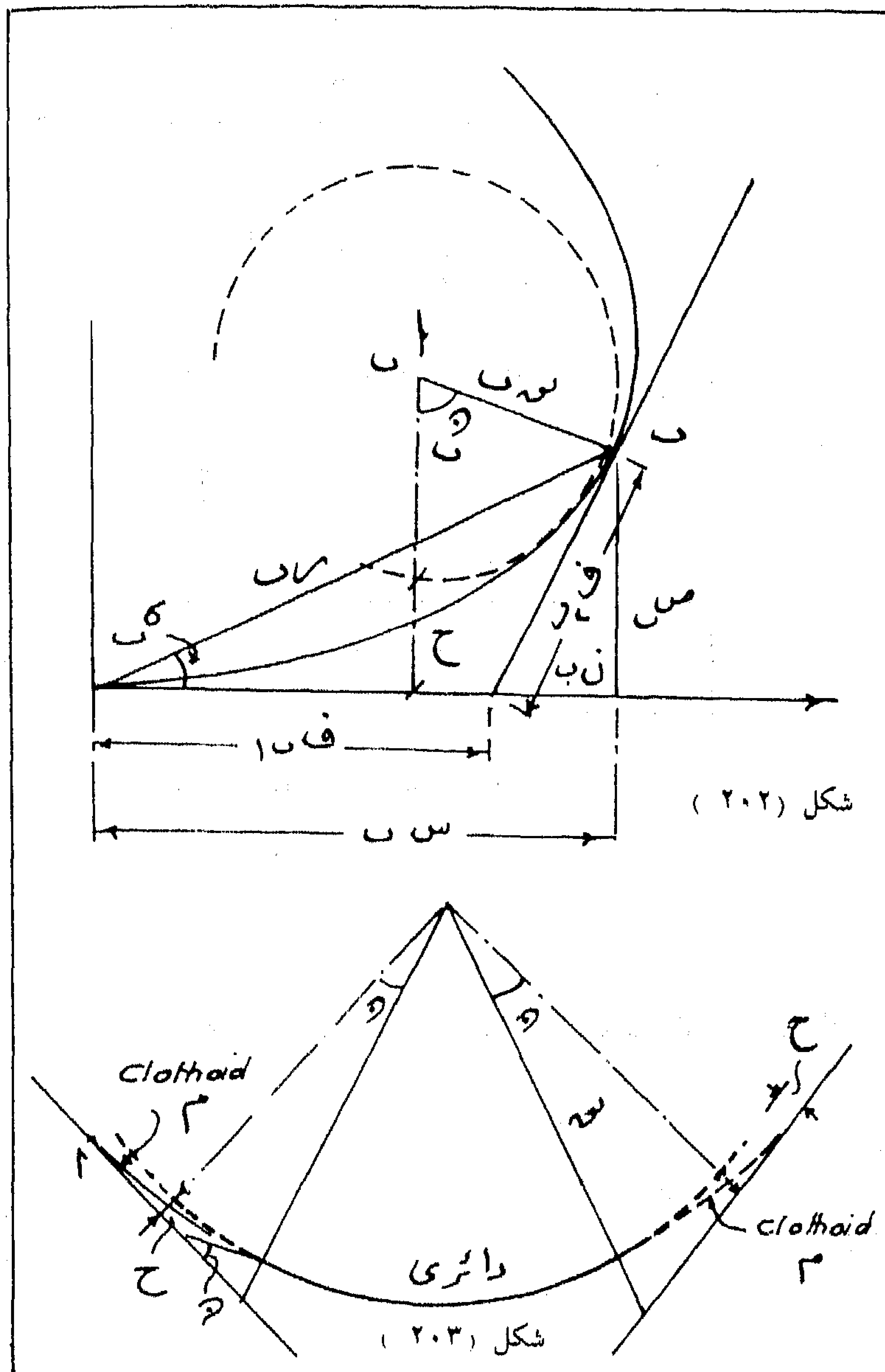
ويمكن تحويل جميع المنحنيات الحلزونية إلى منحنى أولى حيث $ك^٢ = ١$ تكون معادلته :

$$ع_١\ ل_١ = ١ \qquad ...... (١٤٧)$$

وذلك لسهولة أستنتاج أجزاء أى منحنى أنتقالى بأى أطوال وأقطار .

أجزاء المنحنى الحلزونى الأصلى :

لدينا فى شكل (٢٠٢) :



شكل (٢٠٢)

شكل (٢٠٣)

ع = نصف قطر المنحنى الدائرى .

$\text{ع}_{\text{ب}}$ = نصف قطر المنحنى الإنتقالى عند أى نقطة (ب) تبعد $\text{ل}_{\text{ب}}$ عن نقطة الأصل ا .

$\text{ل}_{\text{ب}}$ = طول المنحنى من ا إلى ب .

هـ = الزاوية بين المحور س ا و مماس المنحنى الأنتقالى عند ب .

$\text{س}_{\text{ب}}$ ، $\text{ص}_{\text{ب}}$ = إحداثيات نقطة ب .

م = الطول الكلى للمنحنى الأنتقالى .

ح = مقدار الزحزحة .

$\text{هـ}_{\text{ب}}$ = زاوية الأزاحة = $\frac{\text{م}}{\text{٢ ع}}$

$\delta_{\text{ب}}$ = زاوية الوتر .

$\text{ں}_{\text{ب}}$ = الوتر من نقطة الأصل إلى ب .

$\text{ف}_{\text{ب}_{١}}$ ، $\text{ف}_{\text{ب}_{٢}}$ = طولا المماسين .

أجزاء المنحنى الحلزونى الأولى :

لدينا فى شكل (٢٠٢) :

$$\text{ع}_{١}\,\text{ل}_{١} = ١$$

$$\text{ل}_{١}^{٢} = ٢\,\text{هـ}$$

$$\text{هـ} = \frac{\text{ل}_{١}^{٢}}{٢} = \frac{١}{٢\,\text{ع}_{١}^{٢}}$$

$$\text{ءس} = \text{ء ل}_{١}\ \text{جتا هـ}$$

$$\text{ءص} = \text{ء ل}_{١}\ \text{جا هـ}$$

$$\text{س} = \int_{\text{صفر}}^{\text{ل}_{١}} \text{جتا}\,\frac{\text{ل}_{١}^{٢}}{٢}\ .\ \text{ء ل}_{١}$$

$= \sqrt{2\text{هـ}}\ (1 - \frac{\text{هـ}^2}{10} + \ldots\ldots)$

$\text{ص} = \int_{\text{صفر}}^{\text{ل}_1} \text{جا} \frac{\text{ل}_1^2}{2} \cdot \text{ء ل}_1$

$= \sqrt{2\text{هـ}}\ (\frac{\text{هـ}}{2} - \frac{\text{هـ}^3}{42} + \ldots\ldots)$

$\left.\begin{array}{l} \text{ص}_\text{م} = \text{ص} - \text{ω}_1 \text{ جتا هـ} \\ \text{س}_\text{م} = \text{س} - \text{ω}_1 \text{ جا هـ} \end{array}\right\}$ إحداثيات المركز

$\text{ح} = \text{ص}_\text{م} - \text{ω}_1$

$\text{ف}_1 = \frac{\text{ص}}{\text{جا هـ}}$

$\text{ف}_2 = \text{س} - \text{ص ظتا هـ}$

$\text{ر} = \sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2}$

$\sigma = \text{ظتا}^{-1} \frac{\text{ص}}{\text{س}}$

أجزاء المنحنى الأصلي :

ومعادلة المنحنى باستعمال الأحداثيات الكرتيزية (بأعتبار ا س هو محور السينات ، ومحور الصادات متعامداً على ا س) هي :

$\text{س} = \int_{\text{صفر}}^{\text{ل}} \text{جتا} \frac{\text{ل}^2}{2\text{ك}^2} \cdot \text{ء ل} = \text{ل} - \frac{\text{ل}^5}{40\text{ك}^4}$

$+ \frac{\text{ل}^9}{3456\text{ك}^8} - \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots$

$\text{ص} = \int_{\text{صفر}}^{\text{ل}} \text{جا} \frac{\text{ل}^2}{2\text{ك}^2} \cdot \text{ء ل} = \frac{\text{ل}^3}{6\text{ك}^2} - \frac{\text{ل}^7}{336\text{ك}^6}$

$$+ \frac{\text{ل}^{11}}{4224\,\text{ك}} - \dots \dots \dots \dots$$

أو :

$$\text{ص} = \frac{\text{ل}^{3}}{3\,(2\,\text{م}\,\text{ع})} - \frac{\text{ل}^{7}}{7 \times 3!\,(2\,\text{م}\,\text{ع})^{3}} + \dots \dots \dots$$

(١٤٨) ... ...

$$\text{س} = \text{ل} - \frac{\text{ل}^{5}}{5 \times 2!\,(2\,\text{م}\,\text{ع})^{2}} + \frac{\text{ل}^{9}}{9 \times 4!\,(2\,\text{م}\,\text{ع})^{4}}$$

(١٤٩) ......

وعملياً تحسب س ، ص كالتالى .

$$\text{س} = \text{ل}\left(1 - \frac{\text{ل}^{2}}{40\,\text{ع}^{2}}\right)$$

$$\text{ص} = \frac{\text{ل}^{2}}{6\,\text{ع}}\left(1 - \frac{\text{ل}^{2}}{56\,\text{ع}^{2}}\right)$$

(١٥٠) ......

ويمكن كتابة المعادلات السابقة بالنسبة للمنحنى الأول ذى الثابت الوحدة بوضع $\text{ك}^{2} = 1$.

العلاقة بين ثابت المنحنى والسرعة على الطريق :

هناك علاقة ثابتة بين ثابت المنحنى والسرعة وهى :

$$ك = ٠,٢٠٧ \sqrt{ع^٣}$$ ...... (١٥١)

ويمكن إيجاد طول المنحنى الحلزونى مباشرة من العلاقة .

$$ل = ٠,٠٤٢٨ \frac{ع^٣}{س}$$ ...... (١٥٢)

جدول المنحنى الأولى وطرق استعماله :

جداول المنحنى الأوّلى عبارة عن جداول تحوى جميع أجزاء المنحنى لأنصاف أقطار مختلفة والعلاقات القطرية المختلفة .

العلاقة القطرية هى :

$$\lambda = \frac{ح_١}{س_١} = \frac{ح}{س}$$

$$\xi = \frac{ل_١}{س_١} = \frac{م}{س}$$ .... (١٥٣)

ووظيفة العلاقات القطرية هى سرعة إستنتاج أجزاء المنحنى من عناصره المعروفة .

عناصر المنحنى :

σ ، $ر_١$ ، $ح_١$ ، $س_١$ ، $س_م$ ، $ص_١$ ، $س_١$ ، $ل_١$ ، هـ ، ξ ، λ

ومن الواضح أننا نحتاج إلى عنصرين من المنحنى لإيجاد العناصر الباقية .

وجدول (٢٥) يبين نموذجاً للجداول المستعملة فى إيجاد عناصر المنحنى الحلزونى .

ملحوظة : ص م غير موجودة بالجدول حيث أنها تساوى دائماً الزحزحة مضافاً إليها عه ١ .

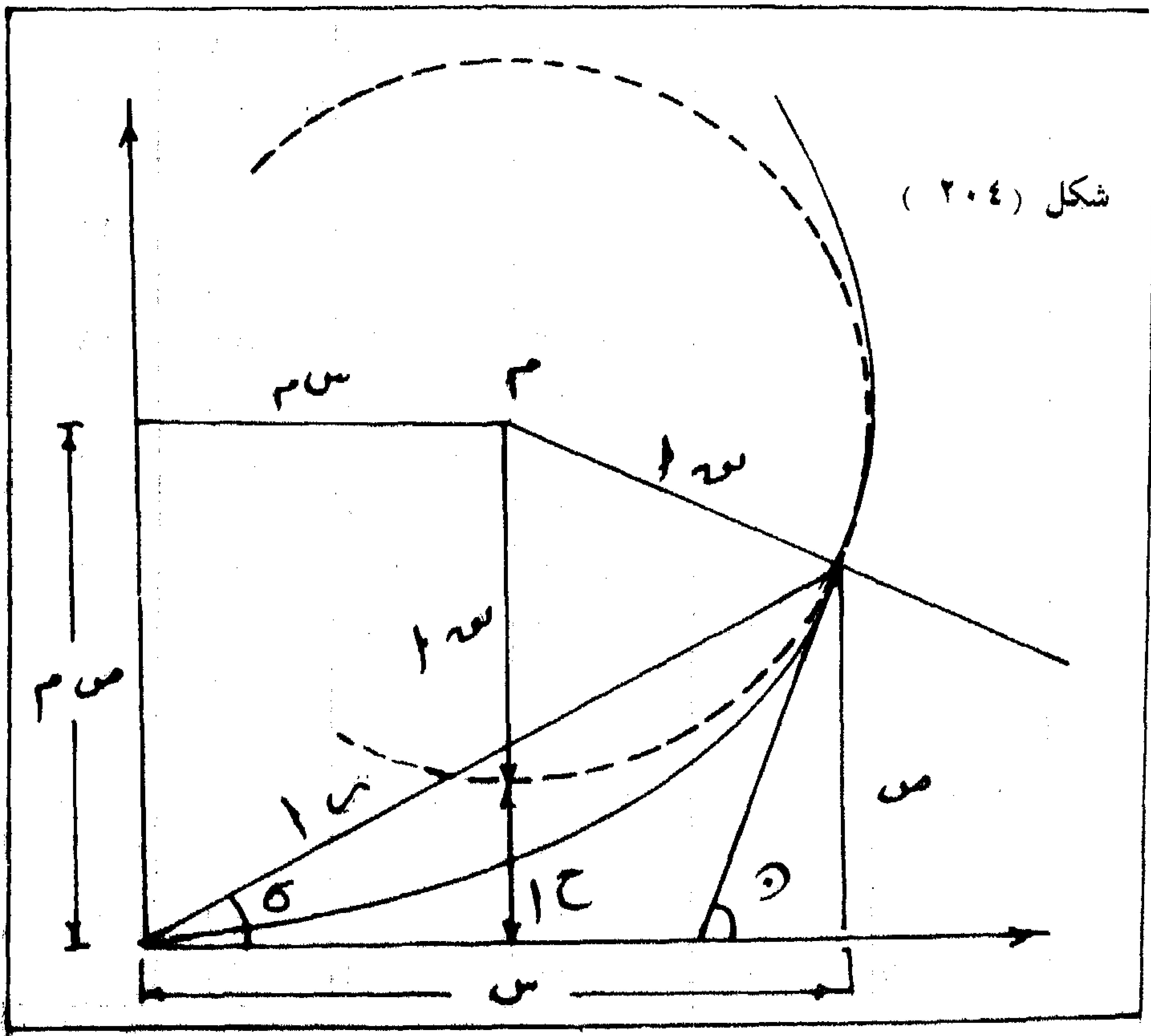
ويحوى الجدول العناصر التالية :

N = ١٠٠٠ ل ١ $\lambda = \frac{ح}{ى}$

$\zeta = \frac{م}{ى}$

هـ ، ل ١ ، س ١ ، ص ١ ، س م ، عه ١ .

ح ١ ، ن ١ ، σ .



شكل (٢٠٤)

جدول (٢٥)

N	λ	ζ	ن	ل۱	س
	×١٠		ْ ـ =		
٣٥٠	٦٢٣	٠٫١٢٢٥٠٠	٣ ٣٠ ٣٤	٠٫٢٥٠٠	٠٫٣٤٩٨٦٩
	٧	٧٠١	١ ١٢	١٠	٩٩٨
٣٥٥	٦٦٢	٠٫١٢٦٠٢٥	٣ ٣٦ ٣٧	٠٫٣٥٥٠	٠٫٣٥٤٨٦٠
	٧	٧١١	١ ١٣	١٠	٩٩٧
٣٦٠	٧٠٠	٠٫١٢٩٦٠٠	٣ ٤٢ ٤٦	٠٫٣٦٠٠	٠٫٣٥٩٨٤٩
	٨	٧٢١	١ ١٤	١٠	٩٩٨
٣٦٥	٧٣٩	٠٫١٣٣٢٢٥	٣ ٤٩ ٠٠	٠٫٣٦٥٠	٠٫٣٦٤٨٣٨
	٩	٧٣١	١ ١٥	١٠	٩٩٨
٣٧٠	٧٨١	٠٫١٣٦٩٠٠	٣ ٥٥ ١٩	٠٫٣٧٠٠	٠٫٣٦٩٨١٧
	٨	٧٤١	١ ١٦	١٠	٩٩٧
٣٧٥	٨٢٤	٠٫١٤٠٦٢٥	٤ ٠١ ٤٣	٠٫٣٧٥٠	٠٫٣٧٤٨١٥
	٨	٧٥١	١ ١٧	١٠	٩٩٧
٣٨٠	٨٦٩	٠٫١٤٤٤٠٠	٤ ٠٨ ١٣	٠٫٣٨٠٠	٠٫٣٧٩١٠٣
	٩	٧٦١	١ ١٩	١٠	٩٩٧
٣٨٥	٩١٥	٠٫١٤٨٢٢٥	٤ ١٤ ٤٧	٠٫٣٨٥٠	٠٫٣٨٤٧٩٨
	٩	٧٧١	١ ١٩	١٠	٩٩٧
٣٩٠	٩٦٤	٠٫١٥٢١٠٠	٤ ١١ ٣٦	٠٫٣٩٥٠	٠٫٣٨٩٧٧٤
	١٠	٧٨١	١ ٢١	١٠	٩٩٨
٣٩٥	١٠١٤	٠٫١٥٦٠٢٥	٤ ٢٨ ١١	٠٫٣٩٥٠	٠٫٣٩٤٧٦٠
	١٠	٧٩١	١ ٢٢	١٠	٩٩٧
٤٠٠	١٠٦٦	٠٫١٦٠٠٠٠	٤ ٣٥ ٢١	٠٫٤٠٠٠	٠٫٣٩٩٧٤٤
	١١	٨٠١	١ ٢٣	١٠	٩٩٧

(تابع جدول ٢٥)

ص	س م	ع ١	ح ١	س ١	σ
			⁶ ١٠×		
٠٫٠٠٧١٤٤	٠٫٠١٧٤٩٧٨	٢٫٨٥٧١٤٣	١٧٢٦	٠٫٠٣٤٩٩٤٢	١ ١٠ ١١
٦١	٥٠٠	٨١٤٠	١٥	٩٩٩	٢٤
٠٫٠٠٧٤٥٤	٠٫٠١٧٧٤٧٧	٢٫٨١٦٩٠١	١٣٦٣	٠٫٠٣٥٤٩٣٧	١ ١٢ ١٢
٦٥	٤٩٩	٧٩١٢	١٧	٩٩٩	٢٥
٠٫٠٠٧٧٧٤	٠٫٠١٧٩٩٧٥	٢٫٧٧٧٧٧٨	١٩٤٤	٠٫٠٣٥٩٩٣٣	١ ١٤ ١٥
٦٥	٥٠٠	٧٦٩٥	١٦	٩٩٩	٢٥
٠٫٠٠٨١٠٢	٠٫٠١٨٢٤٧٢	٢٫٧٣٩٧٢٦	٢٠٢٥	٠٫٠٣٦٤٩٢٨	١ ١٦ ٢٠
٦٧	٥٠٠	٧٤٣٦	١٧	٩٩٩	٢٥
٠٫٠٠٨٤٣٩	٠٫٠١٨٤٩٧١	٢٫٧٠٢٧٠٣	٢١١٠	٠٫٠٣٦٩٩٢٣	١ ١٨ ٢٦
٦٩	٥٠٠	٧٢٣٥	١٧	٩٩٩	٢٦
٠٫٠٠٨٧٨٦	٠٫٠١٨٧٤٦٩	٢٫٦٦٦٦٦٧	٢١٩٧	٠٫٠٣٧٤٩١٨	١ ٢٠ ٣٤
٧٠	٥٠٠	٧٠٩٣	١٧	٩٩٩	٢٦
٠٫٠٠٩١٤٢	٠٫٠١٨٩٩٦٧	٢٫٦٣١٥٧٩	٢٢٨٣	٠٫٠٣٧٩٩١٨	١ ٢٢ ٤١
٧٢	٥٠٠	٦٩٠٧	١٨	٩٩٩	٢٦
٠٫٠٠٩٥٠٧	٠٫٠١٩٢٤٦٥	٢٫٥٩٧٤٠٣	٢٣٧٧	٠٫٠٣٨٤٩٠٦	١ ٢٤ ٥٥
٧٤	٥٠٠	٦٧٢٩	١٨	٩٩٩	٢٧
٠٫٠٠٩٨٨١	٠٫٠١٩٤٩٦٣	٢٫٥٦٤١٠٣	٢٤٧١	٠٫٠٣٨٩٩٠٠	١ ٢٧ ٠٩
٧٧	٤٩٩	٦٥٥٨	١٩	٩٩٨	٢٦
٠٫٠١٠٢٦٧	٠٫٠٠٩٧٤٦٠	٢٫٥٣١٦٤٦	٢٥٦٧	٠٫٠٣٩٤٨٩٣	١ ٢٩ ٠٢
٧٨	٥٠٠	٦٥٩٣	٢٠	٩٩٩	٢٨
٠٫٠١٠٦٦٢	٠٫٠١٩٩٩٥٨	٢٫٥٠٠٠٠٠	٢٦٦٦	٠٫٠٣٩٩٨٨٦	١ ٣١ ٤٠
٨٠	٤٩٩	٦٢٣٤	٢٠	٩٩٩	٢٧

أمثلـــــة

مثال ١ ــ منحنى دائرى نصف قطره ٤٠٠ متر يراد إيصاله بمحور طريق مستقيم بواسطة منحنى أنتقال حلزونى طوله ٦٠ مترا . عين إحداثيات نقطة تلاقى المنحنى الحلزونى بالدائرى .

نق = ٤٠٠ متر   م = ٦٠,٠ مترا

ومنها نوجد قيمة العلاقة القطرية ع .

$$ع = \frac{م}{نق} = \frac{٦٠}{٤٠٠} = ٠,١٥٠٠٠$$

ومن الجدول : إحداثيات المنحنى الأولى :

س = ٠,٣٨٧٠٨

ص = ٠,٠٠٩٦٨

$ل_{١}$ = ٠,٣٨٧٣

ولإيجاد ك :

$$ك = \frac{م}{ل_{١}} \qquad \therefore ك = \frac{٦٠}{٠,٣٨٧٣} = ١٥٥$$

الأحداثيات المطلوبة هى :

س = ١٥٥ × ٠,٣٨٧٠٨ = ٥٩,٩٩ م

ص = ١٥٥ × ٠,٠٠٩٦٨ = ١,٥٠ م

ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية بإستخدام المعادلة الكارتيزية بأخذ حدين فقط منهما كالآتى :

نق = ٤٠٠ متر   م = ٦٠,٠٠

$$\text{ص} = \frac{\text{ل}^{٣}}{٣\,(٢\,\text{ع}\,\text{م})} - \frac{\text{ل}^{٧}}{٧ \times ٣!\,(٢\,\text{م}\,\text{ع})^{٣}}$$

$$= \frac{٦٠^{٣}}{٣\,(٢ \times ٦٠ \times ٤٠٠)} - \frac{٦٠^{٧}}{٧ \times ٣ \times ٢\,(٢ \times ٦٠ \times ٤٠٠)^{٣}}$$

$$= \frac{٦}{٤} - \text{صفر}$$

$$= ١,٥ \text{ متر}$$

$$\text{س} = \text{ل} - \frac{\text{ل}^{٥}}{٤٠\,\text{ك}^{٤}}$$

$$= ٦٠ - \frac{٦٠^{٥}}{٤٠\,(٢٤٠٠٠)^{٢}}$$

$$= ٦٠ - ٠,٠٢ = ٥٩,٩٨ \text{ متراً .}$$

وباستعمال العلاقة العملية :

$$\text{س} = \text{ل}\,\left(١ - \frac{\text{ل}^{٢}}{٤٠\,\text{ع}^{٢}}\right)$$

$$\text{ص} = \frac{\text{ل}^{٢}}{٦\,\text{ع}}\,\left(١ - \frac{\text{ل}^{٢}}{٥٦\,\text{ع}^{٢}}\right)$$

نجد أن :

$$\text{س} = ٦٠\,\left(١ - \frac{٦٠^{٢}}{٤٠ \times ٤٠٠^{٢}}\right)$$

$$= ٦٠ \times ٠,٩٩٩٩٠٦٢ = ٥٩,٩٩ \text{ مترا}$$

$$\text{ص} = \frac{٦٠^{٢}}{٦ \times ٤٠٠}\,\left(١ - \frac{٦٠^{٢}}{٥٦ \times ٤٠٠^{٢}}\right)$$

= ١,٥ × ٠,٩٩٩٥٩٨

= ١,٤٩٩ متر

وهى نفس النتيجة التى حصلنا عليها بأستعمال الجداول .

مثال ٢ — عين أجزاء المنحنى الأنتقالى الحلزونى بين محور طريق مستقيم وآخر دائرى نصف قطره ٤٠٠ متر إذا كانت السرعة المسموحة على الطريق لا تتجاوز ٩٠ كم/ساعة .

الحـــل :

نوجد أولاً ثابت المنحنى :

ك = ٠,٢٠٧ $\sqrt{\text{ع}^{٣}}$ = ٠,٢٠٧ $\sqrt{٩٠^{٣}}$ = ١٧٦,٧

ن١ = $\frac{\text{ن}}{\text{ك}}$ = $\frac{٤٠٠}{١٧٦,٧}$ = ٢,٢٦٣

ومن الجدول عند سطر ٤٤١ نجد أن :

هـ = ١٧″ ٣٤′ ٥° .

ل١ = ٠,٤٤١	س١ = ٠,٤٤٠٦
ص١ = ٠,٠١٤٣	ح١ = ٠,٠٠٣٥
ر١ = ٠,٤٤٠٧	σ = ٢٥″ ٥١′ ١°

وبالضرب فى ك أى ١٧٦,٧٠ :

هـ = ١٧″ ٣٤′ ٥°	س = ٧٧,٨٥ م
σ = ٢٥″ ٥١′ ١°	ر = ٧٧,٨٧ م
ح = ٠,٦١٨	ص = ٢,٥٢٦٨ م
م = ٧٧,٩٢٤٧ م	

ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية باتباع خطوات الحل الآتية :

١ ـ إيجاد طول المنحنى م مباشرة من العلاقة .

$$\text{نق}\ \text{م} = \text{ك}^{٢}$$

٢ ـ إيجاد س ، ص من المعادلات الكارتيزية .

٣ ـ إيجاد طول الوتر ر من المعادلة .

$$\text{ر} = \sqrt{\text{س}^{٢} + \text{ص}^{٢}}$$

٤ ـ ايجاد σ من المعادلة .

$$\sigma = \text{ظا}^{-١}\ \frac{\text{ص}}{\text{س}}$$

٥ ـ إيجاد الزاوية هـ من المعادلة .

$$\text{م}^{٢} = ٢\ \text{ك}^{٢}\ \widehat{\text{هـ}} \quad \text{أو} \quad \text{م} = ٢\ \text{نق}\ \widehat{\text{هـ}}$$

٦ ـ وكذلك إيجاد $\text{ف}_{١}$ ، $\text{ف}_{٢}$ كالآتى :

$$\text{ـ}\ \text{نق}\ \text{م} = \text{ك}^{٢}$$

$$\text{م} = \frac{\text{ك}^{٢}}{\text{نق}} = \frac{١٧٦,٧^{٢}}{٤٠٠} = ٧٨\ \text{م}$$

$$٢\ \text{ـ}\ \text{س} = \text{ل}\ \left(١ - \frac{\text{ل}^{٢}}{٤٠\ \text{نق}^{٢}}\right)$$

$$= ٧٨\ \left(١ - \frac{٧٨^{٢}}{٤٠ \times ٤٠٠^{٢}}\right)$$

$$= ٧٧,٩٢\ \text{م}$$

$$\text{ص} = \frac{\text{ل}^{٢}}{٦\ \text{نق}}\ \left(١ - \frac{\text{ل}^{٢}}{٥٦\ \text{نق}^{٢}}\right)$$

$$= \frac{٧٨^٢}{٦ \times ٤٠٠} \left(١ - \frac{٧٨^٢}{٥٦ \times ٤٠٠^٢} \right)$$

= ٢,٥٣ م

٣ ـ ر $= \sqrt{س^٢ + ص^٢}$

$= \sqrt{٧٧,٩٢^٢ + ٢,٥٣^٢}$

= ٧٧,٩٦ م

٤ ـ ٥ $=$ ظا$^{-١}$ $\frac{ص}{س}$

= ٣٤″ ٥١′ ١°٠

٥ ـ $\hat{هـ}$ = $\frac{م}{٢ ع}$ = ٠,٠٩٧٥

هـ = ٢١″ ٣٥′ ٥°٠

مثال ٣ ـ منحنى دائرى نصف قطره ٣٠٠ متر . عين أجزاء المنحنى الانتقالى بين هذا المنحنى الدائرى وبين المستقيم . إذا كان مقدار الزحزحة = ٧٥ سم .

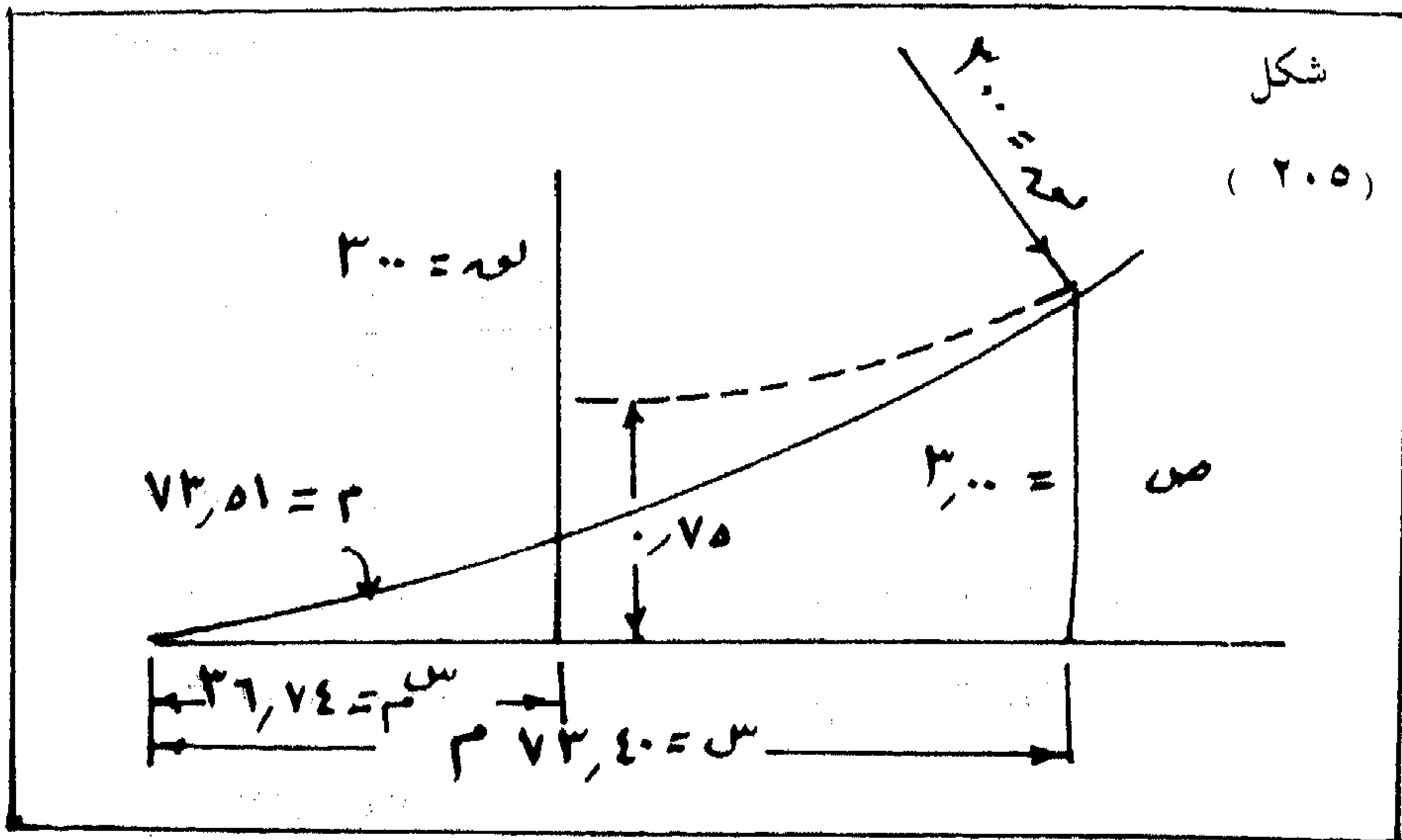
الحــــل : شكل (٢٠٥) :

النسبة $\lambda = \frac{ح}{ع} = \frac{٠,٧٥}{٣٠٠} = ٠,٠٠٢٥٠٠$

ومن الجدول أجزاء المنحنى الأولى :

$ل_١ = ٠,٤٩٥$

$ع_١ = ٢,٠٢٠٢$ $\qquad$ $س_م = ٠,٢٤٧٣٨$



شكل (٢٠٥)

س = ٠,٤٩٤٢٦   ه = ١٠″ ٠١′ ٥٠٧

ص = ٠,٠٢٠١٩

ك^{٢} = ثابت المنحنى = $\frac{٣٠٠}{٢,٠٢٠٢}$ = ١٤٨,٥٠

ومنها م = طول المنحنى = ٧٣,٥١ م ، ص = ٣,٠٠ م

س = ٧٣,٤٠ م ، س$_{م}$ = ٣٦,٤٧ م

مثال ٤ ـــ منحنى أنتقالى طوله ٢٠٠ متر وثابته ك = ٢٥٠ ، يراد إدخاله بين منحنى دائرى ومستقيم . والمطلوب هو :

١ ـــ نصف قطر المنحنى الدائرى .

٢ ـــ مقدار الزحزحة اللازمة .

٣ ـــ أحداثيات نقطة اتصاله مع المنحنى الدائرى .

٤ ـــ بعد مركز المنحنى الدائرى عن المستقيم .

الحـــــل :

$$ك = \frac{م}{ل_{ا}}$$

$$\therefore ل_{ا} = \frac{م}{ك} = \frac{٢٠٠}{٢٥٠} = ٠,٨٠٠$$

ومن الجدول :

$ع_{ا} = ١,٢٥$ ‏ ‏ ‏ ‏ ‏ ‏ $ص = ٠,٠٨٤٧٢١$

$ح_{ا} = ٠,٠٢١٢٥٥$ ‏ ‏ ‏ ‏ ‏ ‏ $س_{م} = ٠,٢٩٨٦٣$

$س = ٠,٧٤١٨٤٧$

وبالضرب في $ك = ٢٥٠$.

نصف القطر $ع = ع_{ا}$ $ك = ٣١٢,٥٠$

الإزاحة $ح = ٢٥٠ \times ٠,٠٣١٢٥٥ = ٥,٣١$ م

أحداثيات النقطة $س = ١٩٧,٩٦$ ، $ص$ $٢١,١٨$

$س_{م} = ٩٩,٦٠$

ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية والمطلوب فيه :

١ ــ ع ‏ ‏ ‏ ٢ ــ ح ‏ ‏ ‏ ٣ ــ س ، ص ‏ ‏ ‏ ٤ ــ س م ، ص م

لإيجاد ع

$$م ع = ك^{٢}$$

$$\text{ومنها } ع = \frac{ك^{٢}}{م} = \frac{(٢٥٠)^{٢}}{٢٠٠} = ٣١٢,٥ \text{ متراً}$$

$$س = م \left(١ - \frac{م^{٢}}{٤٠ ع^{٢}} \right)$$

$$\text{ص} = \frac{\text{م}^{٢}}{\text{٦ ى}} \left(\text{١} - \frac{\text{م}^{٢}}{\text{٥٦ ى}^{٢}} \right)$$

$$\text{س} = \text{٢٠٠} \left(\text{١} - \frac{\text{٢٠٠}^{٢}}{\text{٤٠} \times \text{٣١٢,٥}^{٢}} \right)$$

$$= \text{٢٠٠} \left(\text{١} - \text{٠,٠١٠٢} \right) = \text{١٩٧,٩٦ متراً}$$

$$\text{ص} = \frac{\text{٢٠٠}^{٢}}{\text{٦} \times \text{٣١٢,٥}} \left(\text{١} - \frac{\text{٢٠٠}^{٢}}{\text{٥٦} \times \text{٣١٢,٥}^{٢}} \right)$$

$$= \text{٢١,١٩ متراً}$$

لإيجاد ح ، س م لابد لنا من تعيين قيمة الزاوية هـ .

$$\text{الزاوية } \widehat{\text{هـ}} = \frac{\text{م}^{٢}}{\text{٢ ك}^{٢}} = \frac{\text{٢٠٠}^{٢}}{\text{٢} \times \text{٢٥٠}^{٢}} = \text{٠,٣٢ دائرى .}$$

هـ = ٣٨″ ٢٠′ ١٨° جتا هـ = ٠,٩٤٦١٨ جا هـ = ٠,٣١٤٧

وبتطبيق المعادلات = ص + ى جتا هـ .

س م = س ــ ى جا هـ

ح = ص م ــ ى يمكن إيجاد بقية المقادير

تخطيط المنحنى الحلزونى :

المقصود بتخطيط المنحنى هو تعيين مواضع مجموعة من النقط الواقعة عليه وتكون متباعدة عن بعضها بمقدار صغير بالنسبة إلى طول المنحنى بحيث أننا لو وصلنا بينها بخطوط مستقيمة فإننا نحصل على محور الطريق المنحنى فى الطبيعة ويجب ألا تزيد المسافة بين نقط التخطيط عن ١٥ مترا فى الطبيعة .

ويجرى تخطيط المنحنى بإحدى الطريقتين .

١ ــ التخطيط من المماس الأساسى .

وذلك بتوقيع الأحداثيات الكارتيزية (س ، ص) لمجموعة من النقط من المماس (ويعتبر كمحور السينات) ويستعمل القياس الطولى فقط .

٢ ــ التخطيط من النقطة الأصلية (أ) .

وذلك باستعمال الأحداثيات القطبية ويستعمل التيودوليت والشريط فى التوقيع وسنكتفى بالطريقة الأولى حيث أنها الأكثر استعمالاً .

طريقة أحداثيات النقط من المماس :

وهى تقسيم المنحنى الحلزونى إلى أطوال متساوية شكل (٢٠٦) ويعين (س١ ، ص١) للمنحنى الأولى ونعين س ، ص لكل نقطة .

مثال ٥ :

يراد تخطيط منحنى إنتقالى بين مستقيم ومنحنى دائرى نصف قطره ١٠٠ متر وثابت المنحنى ٢٠٠ بحيث تكون نقط المنحنى متساوية البعد .

الحـــــل :

نق ل = ك٢

ل × ٤٠٠ = (٢٠٠)٢

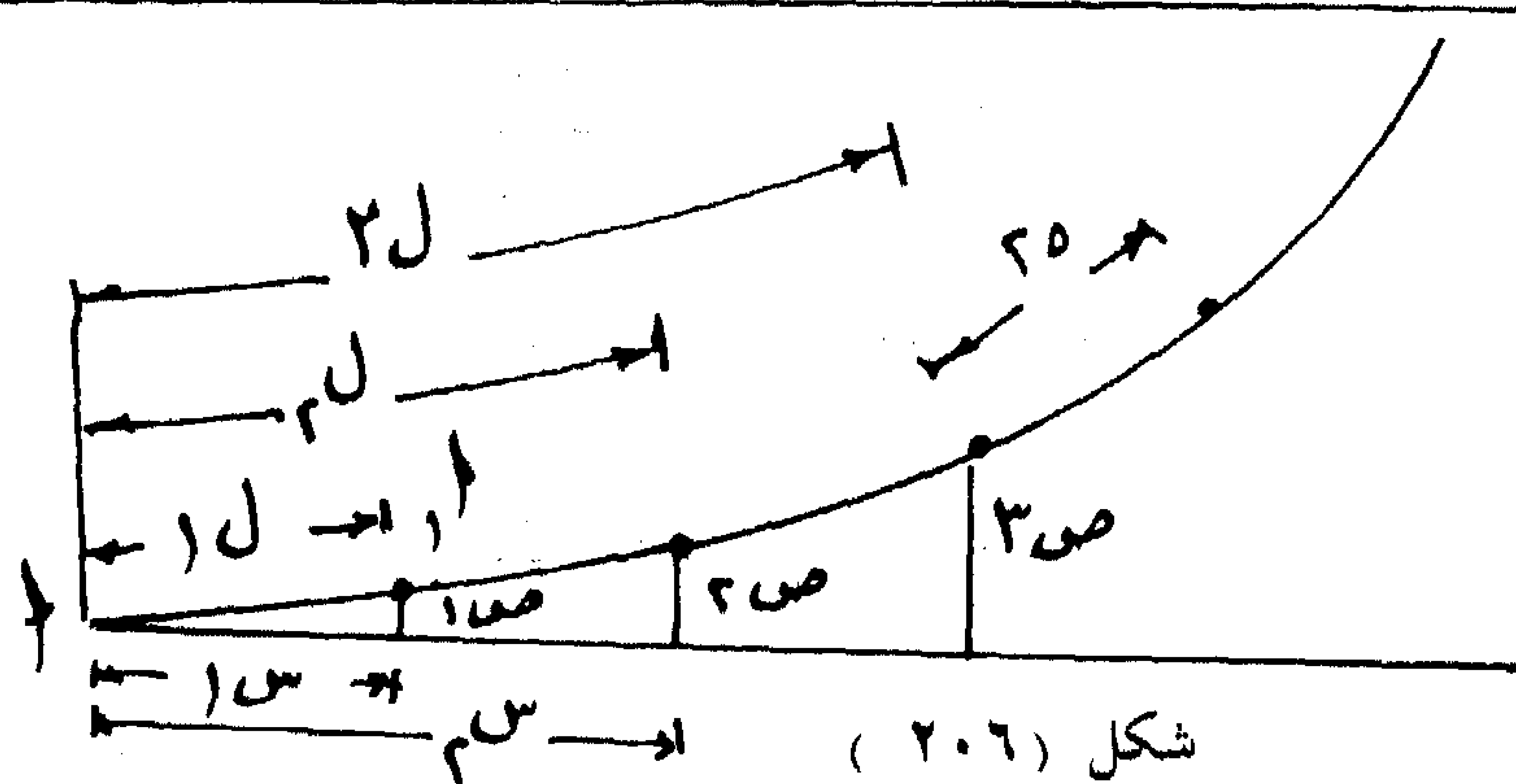
ل = طول المنحنى = ١٠٠ متر

نفرض أن عدد النقط = ٥ نقط

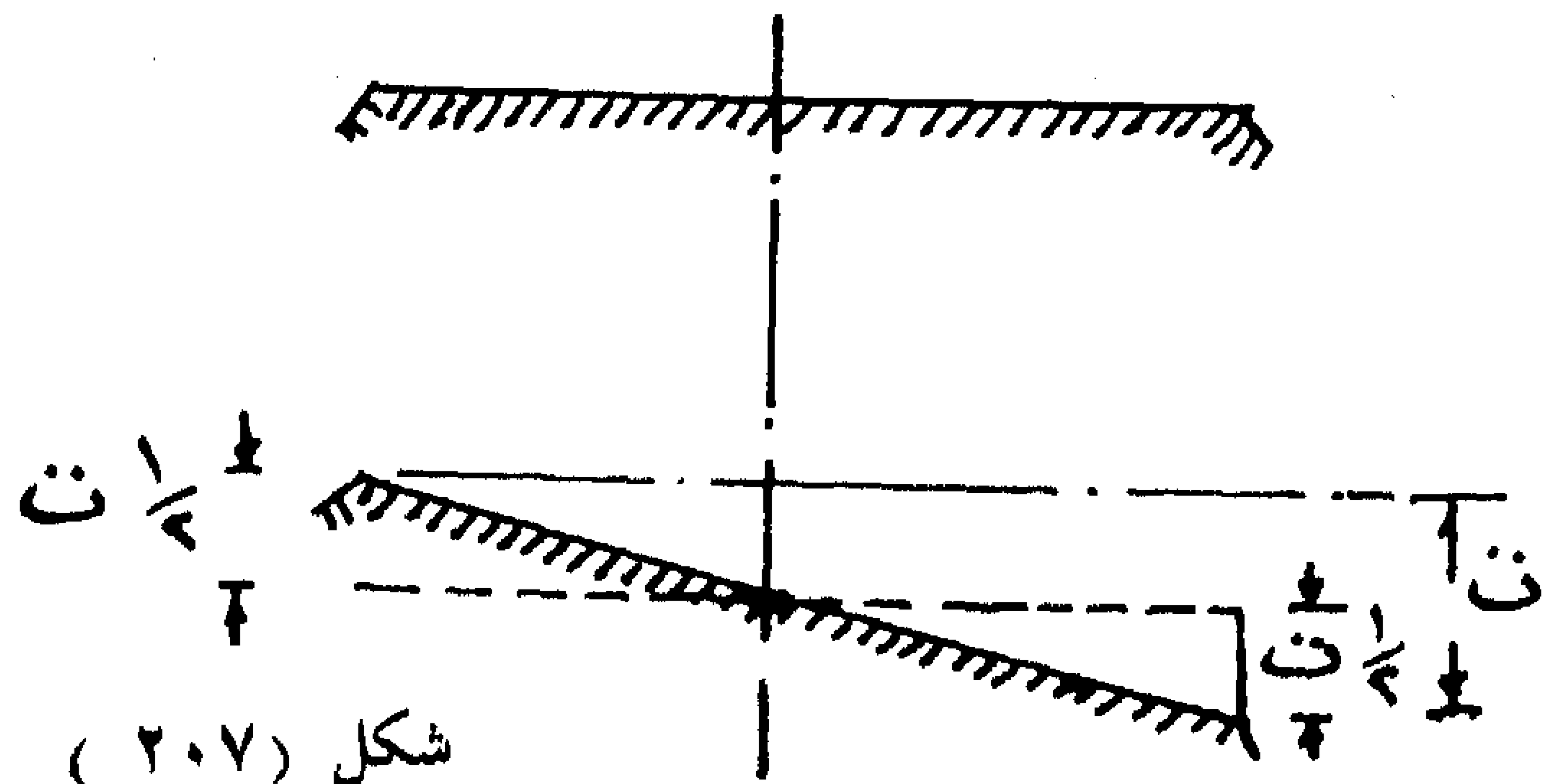
$$ل_١ = \frac{ل}{ك} = \frac{٢٥}{٢٠٠} = ٠,١٢٥$$

جدول (٢٦)

	منحنى أولى			منحنى أصلى		
	ل١	س١	ص١	ل	س	ص
أ	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
أ١	٠,١٢٥	٠,١٢٤٩	٠,٠٠٣٢	٢٥	٢٤,٩٨	٠,٠٦٤
أ٢	٠,٢٥٠	٠,٢٤٩٩	٠,٠٠٣٦	٥٠	٤٩,٩٨	٠,٥٢
أ٣	٠,٣٧٥	٠,٣٧٤٨	٠,٠٠٨٧	٧٥	٧٤,٩٦	١,٧٤
أ٤	٠,٥٠٠	٠,٤٩٩٢	٠,٠٢٠٨	١٠٠	٩٩,٨٤	٤,١٦



شكل (٢٠٦)



شكل (٢٠٧)

والتخطيط العرضى للطريق .

وأرتفاع الظهر عن البطن يتناسب مع طول المنحنى وبالتالى تقوسه . والقيمة النهائية يجب ألا تزيد عن $\frac{١}{١٠}$ من عرض الطريق فإذا كان لدينا فى هذا المثال طريق عرضه ١٠ أمتار فأرتفاع الجانب الخارجى لا يعلو أكثر من $١٠ \times \frac{١}{١٠} \times \frac{١}{٢} = ٠,٥٠$ متراً .

والجانب الداخلى ينخفض $١٠ \times \frac{١}{١٠} \times \frac{١}{٢} = ٠,٥٠$ متراً

ويكون تخطيطه كالآتى :

النقطة على المنحنى	التعلية ت
ا صفر	= صفر سم
$ا_{١}$	$\frac{٢٥}{٢٠٠} \times ٥٠ = ١٢,٥$ سم
$ا_{٢}$	$\frac{٥٠}{٢٠٠} \times ٥٠ = ٢٥$ سم
$ا_{٣}$	$\frac{٧٥}{٢٠٠} \times ٥٠ = ٣٧,٥$ سم
$ا_{٤}$	= ٥٠ سم

ويمكن إستنتاج التعلية لأى نقطة على مدى المنحنى الإنتقالى من شكل التقوس للمنحنى . أنظر شكل (١٩٧) .

٢ ـ القطع المكافىء التكعيبى
(Cubic Parabola)

ذكرنا فى معادلة المنحنى الحلزونى أن أحداثياته هى :

$$\text{س} = \text{ل} - \frac{(\text{ل})^{5}}{40\ \text{ك}^{4}} + \ldots\ \ldots\ \ldots$$

$$\text{ص} = \frac{(\text{ل})^{3}}{6\ \text{ك}^{2}} - \frac{(\text{ل})^{7}}{336\ \text{ك}^{6}} + \ldots\ \ldots\ \ldots \qquad \ldots\ldots (154)$$

ولتبسيط العمليات الحسابية لإيجاد المقادير اللازمة لتوقيع المنحنى الإنتقالى أجرى التقريب التالى وذلك بأخذ الحد الأول من كلا الأحداثين وحذف باقى الحدود من كل من المعادلتين .

$\text{س} = \text{ل}$ ، $\text{ص} = \frac{\text{ل}^{3}}{6\ \text{ك}^{2}}$ ومنها ينتج أن :

$$\text{ص} = \frac{\text{س}^{3}}{6\ \text{ك}^{2}} = \frac{\text{س}^{3}}{6\ \text{ل}\ \text{نق}}$$

$$\text{ص} = \frac{\text{س}^{3}}{6\ \text{ل}\ \text{نق}} \qquad \ldots\ldots (155)$$

وهذه هى معادلة القطع المكافىء من الدرجة الثالثة ويستخدم بكثرة خاصة

فى السكك الحديدية بين الخطوط المستقيمة والمنحنيات الدائرية كمنحنيات أنتقال لسهولة تخطيطه بواسطة الأحداثيات الكرتيزية .

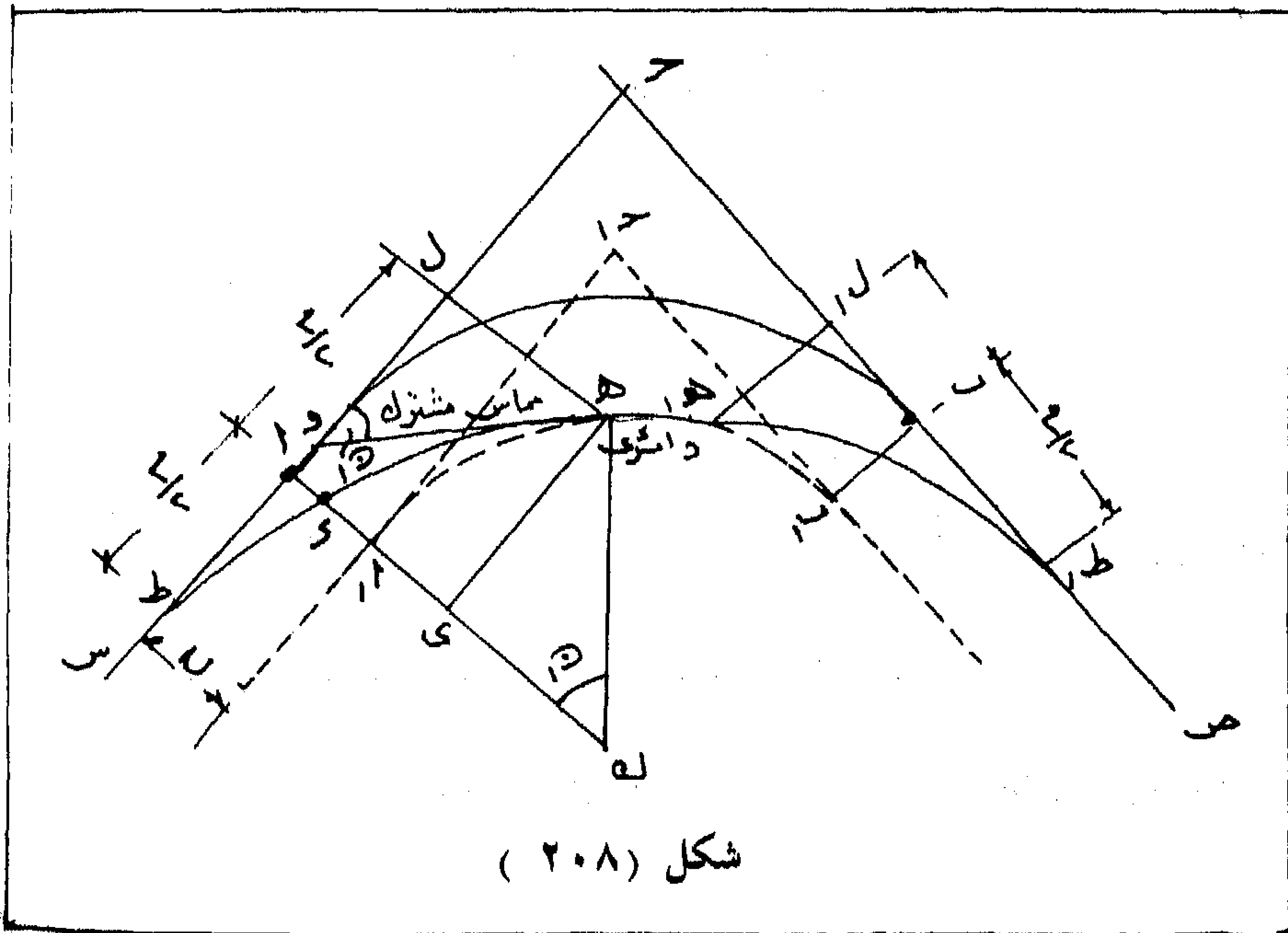
ويتوقف طول منحنى الأنتقال على نصف قطر القوس الدائرى وعلى أقصى سرعة القطار وعلى فرق ارتفاع القضيبين .

ويقدر طول المنحنى الأنتقالى فى هذه الحالة بحيث يساوى ٨٠٠ مرة فرق ارتفاع الظهر عن البطن . فإذا كان الفرق فى ارتفاع القضيبين = ١٠ سم ، طول منحنى الانتقال ل = ٨٠٠ × ٠,١٠ = ٨٠ متراً .

تعيين موضع وتخطيط منحنى القطع التكعيبى

نفرض فى شكل (٢٠٨) أن المنحنى الدائرى ا ب يمس المستقيمين س حـ ، ص حـ عند كل من الطرفين .

١ ــ يزحزح القوس الدائرى موازياً لنفسه نحو مركزه بمقدار (ح) من الوضع ا ب إلى ا١ ب١ (قيمة ح ستبين فيما بعد) .



شكل (٢٠٨)

٢ ــ يقاس على كل من المماسين من نقطة التماس وعلى كلتا جهتيها مسافة قدرها نصف طول منحنى الانتقال المحسوب فتتعين ط ، ل ، $ط_١$ ، $ل_١$ حيث ط ، $ط_١$ هما نقطتا ابتداء منحنى الانتقال وهذا بفرض أن الفرق بين طول منحنى الانتقال والجزء المقابل له من المماس يمكن إهماله تماماً .

٣ ــ يقام عمود من كل من النقطتين ل ، $ل_١$ على المماسين يقابلان القوس $ا_١$ ب فى هـ ، $هـ_١$ على الترتيب .

٤ ــ يوضع منحنيا الانتقال بين ط ، هـ ، بين $ط_١$ ، $هـ_١$ ثم يبقى الجزء هـ $هـ_١$ من القوس الدائرى بينهما . وكما سنرى بعد أن ى $ى_١$ نقطة تقاطع منحنيا الانتقال مع ا $ا_١$ ، ب $ب_١$ هما منتصفا هاتين الزحزحتين على الترتيب إذ أنه من خواص منحنى الانتقال أن أحداثيه الرأسى عند منتصف طوله يساوى نصف مقدار الزحزحة أى أن :

$$ا ى = ى ا_١ ، ب ى_١ = ى_١ ب_١ = \frac{١}{٢} ح$$

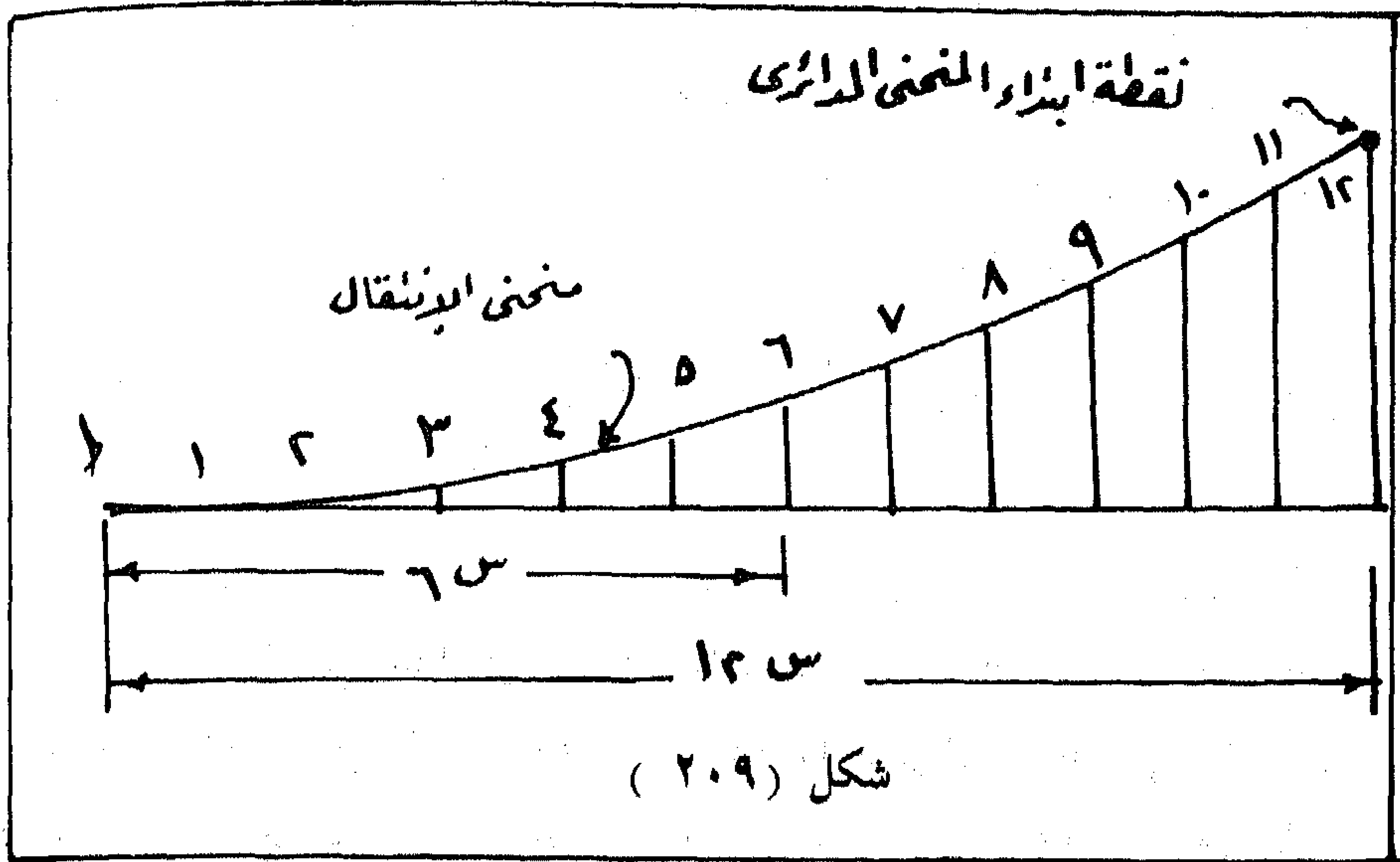
حيث ح هى مقدار الزحزحة .

٥ ــ نوجد قيمة ا فى المعادلة ص = ا $س^٣$ وذلك بالتعويض عن ص بالقيمة $\frac{١}{٢}$ ح ، س بالقيمة م .

$$\frac{ح}{٢} = ا \left(\frac{١}{٢} م \right)^٣$$

$$ا = \frac{٤ ح}{م^٣}$$

$$ل هـ = \frac{٤ ح}{م^٣} \times م^٣ = ٤ ح$$



شكل (٢٠٩)

أى أن الأحداثى العمودى على المماس عند نهاية منحنى الإنتقال تساوى أربعة أمثال مقدار الزحزحة .

الزحزحة : (The Shift)

تقدر زحزحة المنحنى الدائرى لإدخال منحنيات الإنتقال كما يلى (فى شكل ٢٠٨) :

هـ و = المماس المشترك للمنحنيين الأنتقالى والدائرى عند هـ .

$هـ_{1}$ = الزاوية بين المماس المشترك والمماس الأصلى س حـ

= الزاوية $ا_{1}$ ك هـ .

نفرض أن هـ ى رسم عمودياً على $ا_{1}$ ك .

∴ ع = ص ــ ى $ا_{1}$

$$= ص - ى (١ - جتا\ هـ_{1})$$

$$= \frac{م^{2}}{٦\ ى} - \frac{م^{2}}{٨\ ى} = \frac{م^{2}}{٢٤\ ى}$$

$$\therefore ح = \frac{م^2}{24 ى} \qquad ..... (156)$$

$$،\ هـ_1 = \frac{م}{2 ى} = \frac{ا_1 هـ}{ى} \qquad \therefore ا_1 هـ = \frac{م}{2}$$

وعملياً تؤخذ $ا_1$ هـ = ء هـ حيث ء منتصف المنحنى الأنتقالى .

$$ولذلك\ ا ء = \frac{(\frac{1}{2} م)^3}{6 م ى} = \frac{م^2}{48 ى}$$

∴ المنحنى الأنتقالى ينصف الزحزحة أى :

$$ص = \frac{س^3}{6 م ى}$$

وكما ذكرنا فإن قيمة الزحزحة عند منتصف المنحنى هى النصف .

وبالتعويض عن $س = \frac{م}{2}$

$$ص = \frac{(\frac{م}{2})^3}{6 م ى} = \frac{م^3}{48 م ى}$$

$$\therefore \frac{ح}{2} = \frac{م^3}{48 م ى} \qquad ومنها\ ح = \frac{م^2}{24 ى}$$

مثال ٦ ــ منحنى نصف قطره ٨٠٠ مترا ومطلوب إدخال منحنى انتقال بين كل طرف من طرفيه والمماس علماً بأن مقدار اختلاف منسوب القضيبين = ١٢ سم .

احسب مقدار الزحزحة اللازمة للمنحنى وكذلك احسب الأحداثيات الرأسية على طول المنحنى لكل ٨ أمتار من طوله . (الحل شكل ٢٠٩) .

طول منحنى الانتقال = ٠,١٢ × ٨٠٠ = ٩٦ متراً

$$\text{مقدار الزحزحة} = \frac{(٩٦)^{٢}}{٢٤ \times ٨٠٠} = ٠,٤٨ \text{ متراً}$$

$$\text{ص}_{١} = \frac{\text{س}^{٣}}{٦ \text{ ل ى}} = \frac{٨^{٣}}{٦ \times ٨٠٠ \times ٩٦} = \frac{١}{٩٠٠}$$

$$\text{ص}_{٢} = \quad = \frac{(١٦)^{٣}}{٦ \times ٨٠٠ \times ٩٦} = \frac{١}{٩٠٠} \times ٨$$

$$\text{ص}_{٣} = \frac{\text{س}^{٣}}{٦ \text{ ل ى}} = \quad = \frac{١}{٩٠٠} \times ٢٧$$

وهكــذا .

رقم النقطة :	صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦
المسافة الأفقية بالمتر :	صفر	٨	١٦	٢٤	٣٢	٤٠	٤٨
الأحداثى الرأسى بالمتر :	صفر	٠,٠٠١١	٠,٠٠٨٩	٠,٠٣٠	٠,٠٧١١	٠,١٣٨٩	٠,٢٤
		٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
		٥٦	٦٤	٧٢	٨٠	٨٨	٩٦
		٠,٣٨١١	٠,٥٦٨٩	٠,٨١٠	١,١١١١	١,٤١٧٩	١,٩٢

تخطيط المنحنى :

١ ــ يخطط المنحنى بتوقيع أحداثيات نقط عليه بالنسبة للمماس .

٢ ــ نعين نقطة التماس الأصلية ا كما سبق فى المنحنيات الدائرية .

٣ ــ يحسب طول منحنى الأنتقال المطلوب تبعاً للقواعد المتبعة فى كل حالة .

٤ ــ يحسب مقدار الزحزحة من المعادلة .

$$\text{ح} = \frac{\text{م}^{٢}}{\text{٢٤ نق}}$$

٥ ــ نقيم عمود على المماس ونعين حـ ، ى .

ا ى = ى $\text{ا}_{١}$ = نصف الزحزحة

٦ ــ نقيس مسافة على المماس على جانبى ا ط ، ا ل مقدارها = $\frac{\text{م}}{٢}$ = نصف المنحنى الإنتقال فيتعين و ، ب .

٧ ــ نقيم على المماس من ل ، ط أعمدة أطوالها تساوى الزحزحة فنحصل على خط موازيا للمماس الأول وهو المماس الجديد للمنحنى الدائرى المزحزح ومن هذا المماس نوقع المنحنى الدائرى مع إعتبار أن نصف القطر = (نق ــ ح) والجزء الحقيقى المطلوب من المنحنى الدائرى ابتداء من هـ .

٨ ــ نوقع أبتداء من نقطة ط نقط منحنى الانتقال بأخذ أعمدة الأحداثيات الرأسية على المماس ب حـ ، ط نقطة أصل . من المعادلة ص = $\frac{\text{س}^{٣}}{\text{٦ م نق}}$. ثم نخطط المنحنى الدائرى .

٩ ــ نقوم بإجراء مثل ما سبق لتوقيع منحنى الأنتقال الآخر من المماس الثانى .

مســـائل

١ ــ طريقان متوازيان يراد إيصالهما بواسطة منحنى عكسى وعدة منحنيات انتقالية ــ بين بالرسم وضع المنحنيات المختلفة بين الطريقين ــ وكذا شكل التقوس على مدى الطريق وقيمه المختلفة عند منطقة المنحنيات .

٢ ــ عين أجزاء المنحنى الحلزونى المقترح بين طريق مستقيم ومنحنى دائرى ى له = ٣٥٠ م ، إذا كانت السرعة المسموح بها على الطريق تتراوح ما بين ٩٠ ــ ١١٠ كم/ساعة . عين الأجزاء اللازمة لتخطيط هذا المنحنى من المماس .

٣ ــ استنتج مقدار الزحزحة اللازمة لمنحنى دائرى فى خط سكة حديد نصف قطره ى يراد إدخال منحنى انتقالى طوله ل بين كل طرف من طرفيه ومحور الخط الحديدى المستقيم . إذا كان قطر المنحنى الدائرى هو ٥٠٠ متر ، ومقدار إختلاف المنسوب بين محور الخط والقضيب الداخلى عند المنحنى الدائرى = ٦ سم ، عين :

ا ــ مقدار الزحزحة اللازمة للمنحنى الدائرى .

ب ــ طول المنحنى الإنتقالى المطلوب .

حـ ــ الإحداثيات الرأسية على طول المنحنى الأنتقالى لكل ١٢ متر من طوله حتى المنتصف .

٤ ــ منحنى انتقالى حلزونى طوله ٣٠٠ متر وثابته ٢٥٠ متر يراد ادخاله بين منحنى دائرى وخط مستقيم والمطلوب هو :

ا ــ نصف قطر المنحنى الدائرى .

ب ــ مقدار الزحزحة اللازمة .

حـ ــ أحداثيات اتصال المنحنى الأنتقالى مع المنحنى الدائرى .

٥ ـــ ما هى الأجزاء اللازمة لتخطيط منحنى حلزونى من المماس الأساسى له بين مستقيم ومنحنى دائرى نصف قطره ٥٠٠ متراً إذا كان ثابت المنحنى = ٢٥٠ ـــ بين فى جدول التخطيط العرضى لهذا الطريق عند المنحنى الأنتقالى إذا كان عرض الطريق = ١٢ متراً .

٦ ـــ طريقان زاوية تقابلهما ٩٠° ، يراد ايصالهما بواسطة منحنى مركب وعدة منحنيات إنتقالية ـــ بين بالرسم وضع المنحنيات المختلفة بين الطريقين وكذا شكل التقوس على مدى الطريق وقيمه المختلفة عند منطقة المنحنيات .

٦ م ـــ منحنى حلزونى طوله ٢٥٠ متر مقترح بين طريق مستقيم ومنحنى دائرى ىں = ٣٠٠ متر أوجد :

ا ـــ السرعة المسموح بها على منطقة المنحنيات .

ب ـــ الكميات اللازمة لتخطيط المنحنى الحلزونى بالإحداثيات .

حـ ـــ مقدار الزحزحة اللازمة بالسنتيمترات .

٧ ـــ طريق علوى على شكل منحنى حلزونى ثابته ٤٠٠ متر يراد إنشاء نفق مستقيم تحته أوله على بعد ١٢٠ مترا من بداية الطريق وآخره على بعد ٢٥٠ مترا من نفس البداية . أوجد طول النفق .

٨ ـــ عين أجزاء المنحنى الحلزونى المقترح بين طريق مستقيم ومنحنى دائرى قطر ٧٠٠ متر وثابته ٢٨٠ متر . وما هى أقصى سرعة مسموح بها عند منطقة المنحنيات . عين القطاعات العرضية لهذا الطريق إذا كان عرضه ١٦ متراً .

٩ ـــ طريق علوى على شكل منحنى حلزونى ثابته ٣٠٠ متر يراد إنشاء نفق مستقيم تحته أوله على ١٥٠٠ مترا عن بداية الطريق وآخره على بعد ٥٥٠ متر من نفس البداية . أوجد الزاوية المحصورة بين المماسين عند اتصال المنحنى بالطريق .

١٠ ـــ حدد بالرسم المتقن والأبعاد الكاملة كيفية تخطيط المنحنى الذى

يصل بين طريقين متعامدين أدخل عليه منحنيات أنتقالية حلزونية بزحزحة قدرها ٧٥ سم . وأوجد طول المنحنى الكلى وتدريج بداية ونهاية أجزاء المنحنيات المختلفة إذا كان تدريج التقاطع ١٠٠ جنزير . وأوجد ما يلى :

ا ــ الكميات اللازمة لتخطيط المنحنى الانتقالى والمنحنى الدائرى .

ب ــ أطوال المماسات $ف_{١}$ ، $ف_{٢}$.

حـ ــ التخطيط العرضى للطريق على مدى الأجزاء المنحنية .

الباب العشرون

المنحنيات الرأسية

(VERTICAL CURVES)

كثيراً ما يلزم الأمر عمل سطح الأنشاء للطرق أو للسكك الحديدية فى أرض يتغير أنحدارها على هيئة مستويين يتقابلان فى خط مستقيم . فى هذه الحالة يجب أن يتخذ خط الانشاء صورة منحنى رأسى لتلافى هذا التغير الفجائى فى سطح الأرض وإعطاء معدل تغير منتظم فى الإنحدار ، وبذا تنساب العربات والقطارات دون أن تشعر أو تعانى من رجات وأهتزازات فجائية عند تلاقى الأنحدارين المختلفين .

كما يجب أن تكون هناك مسافة رؤية مناسبة فى المنحنيات المحدبة وفى المنحنيات المارة تحت المنشئات .

والمنحنى الرأسى يتخذ عادة شكل قطع مكافىء بسيط محوره رأسى . وقد وجد أن القطع المكافىء هو أحسن المنحنيات التى تصل الإنحدارين نظراً لسهولة تطبيقه ولخواصه الهندسية التى تتفق ومتطلبات المنحنى الرأسى وأهمها تكوين معدل تغير منتظم فى أنحدار الطريق . والواقع أنه حديثاً قد أدخل استعمال القطع المكافىء من الدرجة الثالثة وخاصة فى تقاطعان الوديان .

ويكون تلاقى الأنحدارين فى منتصف المنحنى بحيث يكون نصفه مع الأنحدار الأول ونصفه الثانى مع الأنحدار الثانى ويعتمد طول المنحنى الرأسى على عدة عوامل أهمها :

١ ـــ معدل التغيير فى الإنحدار بين جزئى الطريق .
٢ ـــ معدل السرعة على الطريق .
٣ ـــ طبوغرافية الأرض ودرجة الطريق نفسه .

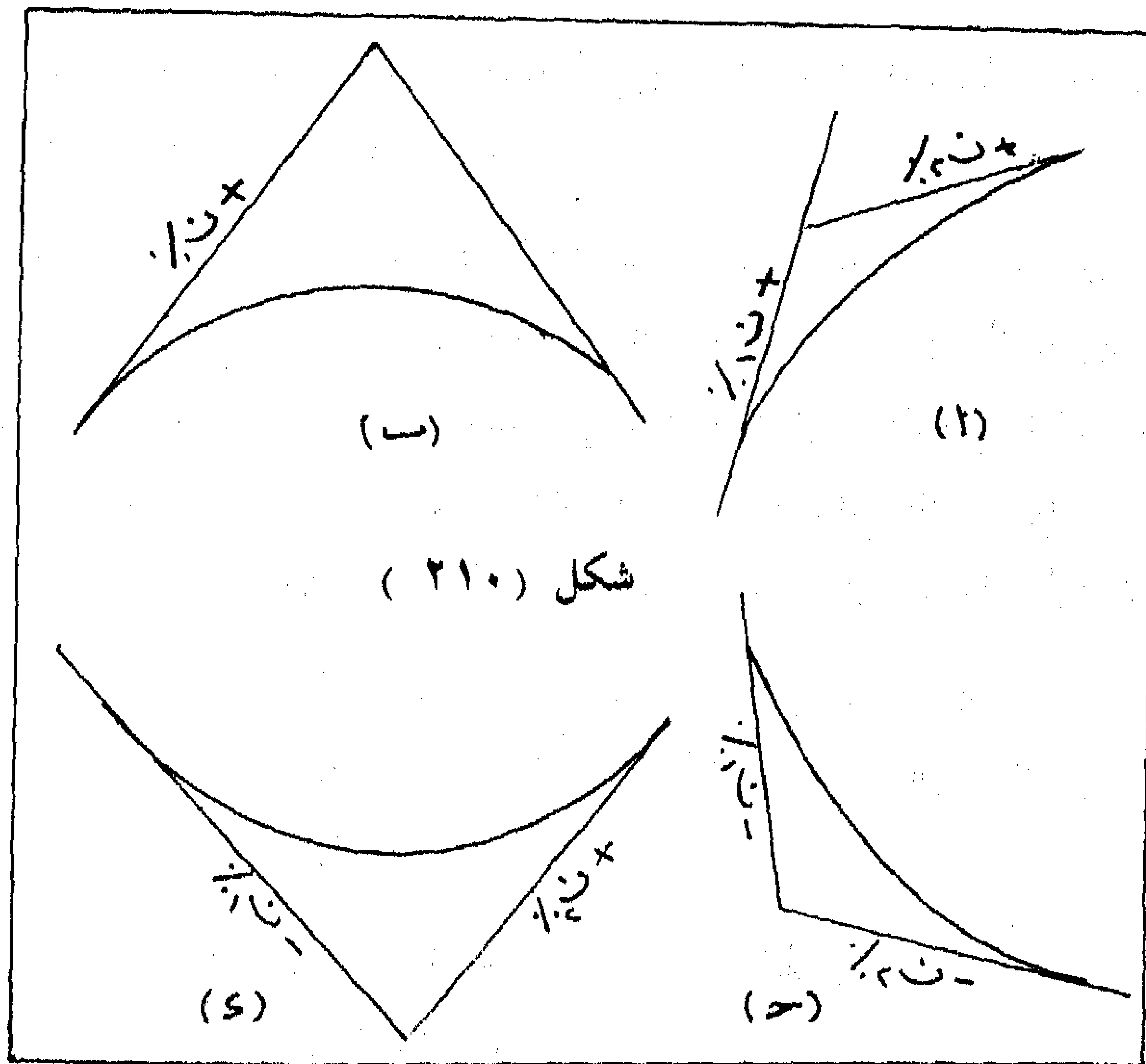
٤ ــ نوع المنحنى المستخدم (مقعر أو محدب) .

٥ ــ مسافة الرؤية .

ويؤخذ الطول المناسب فى معظم المواصفات بحيث لا يتعدى معدل التغير فى الإنحدار قيم معينة بالنسبة لدرجة الطريق .

أنواع المنحنيات الرأسية :

شكل (٢١٠) يبين الأنواع الأربعة المختلفة التى يمكن أن تقابلها فى المنحنيات الرأسية وذلك من ناحية ترتيب وإشارات الإنحدار وعموماً يمكن تقسيمها إلى نوعين (أ) منحنيات رأسية محدبة (Convex) شكل (٢١٠) (أ ، ب) ومقعرة (Concave) (حـ ، د) .



شكل (٢١٠)

أجزاء المنحنى الرأسى

أجزاء المنحنى الرأسى الأساسية هى :

١ ــ طول المنحنى (ل) وهو الطول الأفقى بين نهايتى المنحنى الرأسى شكل (٢١٢) .

٢ ــ معدلا الأنحدارين $ه_١$ ، $ه_٢$ كل ١٠٠ متر وتكتب بصورة نسبة مئوية شكل (٢١١) أو يعطى معدل الانحدار فى صورة قيم معلومة لكل مسافة أفقية وبإشارة محددة وأحياناً يعبر عنهما بزاوية فرق الإنحدارين للخطين المستقيمين .

٣ ــ معدل التغير فى الإنحدار (م) .

٤ ــ بداية ونهاية المنحنى الرأسى هـ ، و . شكل (٢١٢) .

٥ ــ قمة المنحنى ب شكل (٢١٢) .

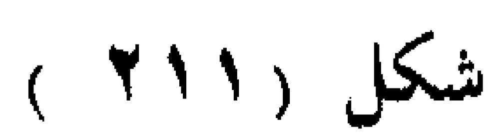
طول المنحنى :

فى شكل (٢١٢) إذا فرض أن الإنحدارين من هـ ، **ويتقابلان فى** نقطة حـ ومعدلى الإنحدارين هما $ه_١$ ، $ه_٢$ متر فى كل ١٠٠ متر ،

والمطلوب إيصالهما بمنحنى رأسى يعطى معدل تغير فى الأنحدار قدره م كل ١٠٠ متر فإن :

$$\text{طول المنحنى (ل)} = \frac{ه_١ - ه_٢}{\text{معدل التغير (م)}} \times ١٠٠ \quad \text{....(١٥٦)}$$

مع مراعاة إشارات الإنحدار (موجباً إلى أعلى وسالباً إلى أسفل) ،



شكل (٢١١)



شكل (٢١٢)

مثال ١ ــ يراد توصيل الانحدار إلى أعلى قدره ٢,١٪ وإنحدار إلى أسفل مقداره ــ ٠,٤٪ بمنحنى رأسى بمعدل تغير فى الانحدار قدره ٠,١ فما طول المنحنى ؟.

$$ل = \frac{٢,١ - (- ٠,٤)}{٠,١} \times ١٠٠ = ٢٥٠٠ \text{ متر}$$

مثال ٢ ــ منحنى رأسى طوله ٣٠٠ متر يصل انحدارين + ٠,٧٪ ، ــ ٠,٨٪ يراد زيادة طول المنحنى إلى ٤٠٠ متر بشرط تساوى كلا الأنحدارين وثبوت قيمة معدل التغير . عين قيمة الانحدار الجديد الواجب استخدامه .

الحــــل :

$$ل = \frac{هـ_١ - هـ_٢}{م} \times ١٠٠$$

$$٣٠٠ = \frac{٠,٧ + ٠,٨}{م} \times ١٠٠$$

$$م = \frac{١,٥ \times ١٠٠}{٣٠٠} = ٠,٥$$

بفرض أن الانحدار الجديد = هـ

$$\therefore ٤٠٠ = \frac{٢ هـ}{٠,٥} \times ١٠٠ \qquad هـ = ١٪$$

خواص القطع المكافىء :

أولاً ــ معادلة القطع المكافىء بالنسبة لأى محورين متعامدين هى :

$$ص = ا س^٢ + ب س + حـ \qquad \text{..... (١٥٧)}$$

وقيمة (ا) تحدد تفلطح المنحنى ، أما إشارتها فتحدد إتجاه الإنحناء ، فإذا كانت موجبة يكون المنحنى مقعراً ، وإن كانت سالبة فإنه يكون محدباً .

ميل المنحنى عند أى نقطة عليه $= \frac{\text{ء ص}}{\text{ء س}} = \text{٢ ا س + ب}$

ثانياً ـــ معدل تغير الانحدار (م) :

$$\text{م} = \frac{\text{ء}^{٢}\text{ ص}}{\text{ء س}^{٢}} = \text{٢ ا} = \frac{\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢}}{\text{ل}} \quad ..... (١٥٨)$$

وبذا فإن معدل تغير الميل أو الانحدار فى القطع المكافىء الرأسى يكون ثابتاً على طول المنحنى جميعه ، وهذا هو الشرط المطلوب فى المنحنيات الرأسية .

وبتحديد قيمة (٢ ا) يتحدد المنحنى الرأسى كما يتحدد المنحنى الأفقى بتعيين درجته ء .

ثالثاً ـــ الفرق بين منسوب نقطة على المنحنى الرأسى ومنسوب النقطة المقابلة لها على المماس = المقدار الثابت (ا) × مربع المسافة الأفقية للنقطة من نقطة التماس . فمثلاً .

$$\text{ى ى}_{١} = \text{ا ص}_{\text{ى}} = \text{ا س}^{٢}_{\text{ى}} = \text{ص}_{\text{هـ}} \cdot \frac{(\text{س ى})^{٢}}{(\frac{١}{٢}\text{ ل})^{٢}}$$

$$\text{ص}_{\text{ى}} = \text{ا س}^{٢}_{\text{ى}} = \text{ص}_{\text{هـ}} \frac{(\text{س ى})^{٢}}{(\frac{١}{٢}\text{ ل})^{٢}} = \frac{\text{س}^{٢}\text{ ى } (\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢})}{\text{٢ ل}}$$

(١٥٩) ....

رابعاً — إذا رسمنا مماسين من أى نقطة مثل حـ ، فإن نقطتى التماس تكونان على بعدين أفقيين متساويين من هذه النقطة لأن :

حـ ب = ص$_{هـ}$ = ا س$^{٢}_{هـ}$ (بالنسبة للمماس عند هـ) .

حـ ب = ص$_{و}$ = ا س$^{٢}_{و}$ (بالنسبة للمماس عند و) .

ا س$^{٢}_{هـ}$ = ا س$^{٢}_{و}$ $\therefore$ س$_{هـ}$ = س$_{و}$

وبذا يقع كل من نصفى المنحنى على جانبى نقطة تلاقى الأنحدارين أى ($\frac{١}{٢}$ ل) على كل جانب .

خامساً — ينصف المنحنى الخط الرأسى الواصل بين نقطتى تقاطع المماسين ومنتصف الوتر الواصل بين نقطتى التماس .

$\because$ س$_{و}$ = س$_{هـ}$ ، ب حـ يوازى و ك .

و ك = ٢ ء حـ	...... (١٦٠)

ولدينا ص$_{هـ}$ = ا س$^{٢}_{هـ}$

و ك = ا (س$_{هـ}$ + س$_{و}$)^{٢} = ٤ ا س$^{٢}_{هـ}$ = ٤ ص$_{هـ}$

من هذا ينتج أن :

٢ حـ ء = ٤ ص$_{هـ}$

ء ب = ب حـ أى ب هى منتصف حـ ء

سادساً — إذا كانت هـ نقطة الإبتداء تعتبر كنقطة الأصل فإن المعامل حـ فى معادلة القطع = صفر وتصبح المعادلة :

ص = ا س^{٢} + ب س

وبما أن الميل = ٢ ا س + ب لأى مماس ، س = صفر عند نقطة الأصل فإن الميل عند نقطة الأصل = ب .

وكذلك فإن ميل المماس عند نقطة الأصل هـ$_{١}$.

معادلة القطع بالنسبة لنقطة التماس ص = ا س^{٢} + هـ$_{١}$ س	...... (١٦١)

سابعاً ــ العلاقة بين هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ ، ل ، ص هـ .

لإيجاد علاقة عامة سنعتبر هنا أن كلا من الميلين هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ هو الميل فى كل وحدة من ل ولتكن جنزير أو ١٠٠ متر أو أى وحدة نختارها .

ع حـ = هـ$_{١}$ ($\frac{١}{٢}$ ل)

و ط = هـ$_{٢}$ ($\frac{١}{٢}$ ل)

وحيث أن حـ ع = ك ط

و ك = ك ط + و ط = حـ ع + و ط

= هـ$_{١}$ ($\frac{١}{٢}$ ل) + هـ$_{٢}$ ($\frac{١}{٢}$ ل)

ومعدلا الانحدار هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ قد يكون أحدهما أو كلاهما سالباً أو موجباً .

وبصورة عامة فإن و ك = هـ$_{١}$ ($\frac{١}{٢}$ ل) ــ هـ$_{٢}$ ($\frac{١}{٢}$ ل)

مع مراعاة إشارات هـ$_{١}$ ، هـ$_{٢}$ الجبرية (موجباً إلى أعلا ، وسالباً إلى أسفل) لكن و ك = ٤ س هـ .

$$\text{ص}_{\text{هـ}} = (\text{هـ}_{1} - \text{هـ}_{2}) \frac{\text{ل}}{8} \qquad \text{......} (١٦٢)$$

حيث ل هو الطول بمئات الأمتار .

مثال ١ — منحنى رأسى طوله ٤٠٠ مترا ، هـ_{1} = + ٤,٠٠٪ ، هـ_{2} = — ٦,٠٠٪ ما طول $\text{ص}_{\text{هـ}}$.

$$\text{ص}_{\text{هـ}} = (٤,٠٠ - (-٦,٠٠)) \times \frac{١}{٨} = +٥,٠٠ \text{ متر}$$

مثال ٢ — منحنى رأسى يصل بين انحدارين هـ_{1} = — ١٪ ، هـ_{2} = + ١ متر كل ٣٠٠ متر ، فإذا كان منسوب المنحنى عند منتصف طوله ١١٩,٣٥٠ ومنسوب نقطة تقاطع الأنحدارين ١١٨,٩٥ . فما هو طول المنحنى .

الحـــل :

$$\text{ص}_{\text{هـ}} = -١١٩,٣٥٠ + ١١٨,٩٥٠ = -٠,٤٠ \text{ متر}$$

$$\text{ص}_{\text{هـ}} = (\text{هـ}_{1} - \text{هـ}_{2}) \frac{\text{ل}}{8}$$

$$\text{ل} = \frac{٨ \, \text{ص}_{\text{هـ}}}{(\text{هـ}_{1} - \text{هـ}_{2})} = \frac{-٨ \times ٠,٤}{-١ - \frac{١}{٣}}$$

$$= \frac{٣,٢٠ \times ٣}{٤} = ٢,٤ \text{ بمئات الأمتار}$$

طول المنحنى هو ٢٤٠ متراً .

حساب مناسيب نقط المنحنى :

لإيجاد مناسيب نقط المنحنى نتبع الخطوات الآتية (شكل ٢١٢) .

١ ـــ نوجد منسوب أول وآخر نقطة (هـ ، و) على المنحنى وذلك بمعلومية معدلى الانحدارين $ه_1$ ، $ه_2$ ومنسوب و) .

٢ ـــ نأتى بمنسوب نقطة ى .

منسوب ى = $\frac{1}{2}$ (منسوب هـ + منسوب و) .

٣ ـــ منسوب ب (على المنحنى) = $\frac{1}{2}$ (منسوب ى + منسوب نقطة التقاطع حـ) .

٤ ـــ المسافة $ص_هـ$ = منسوب حـ ـــ منسوب ب .

٥ ـــ لحساب منسوب أى نقطة على المنحنى .

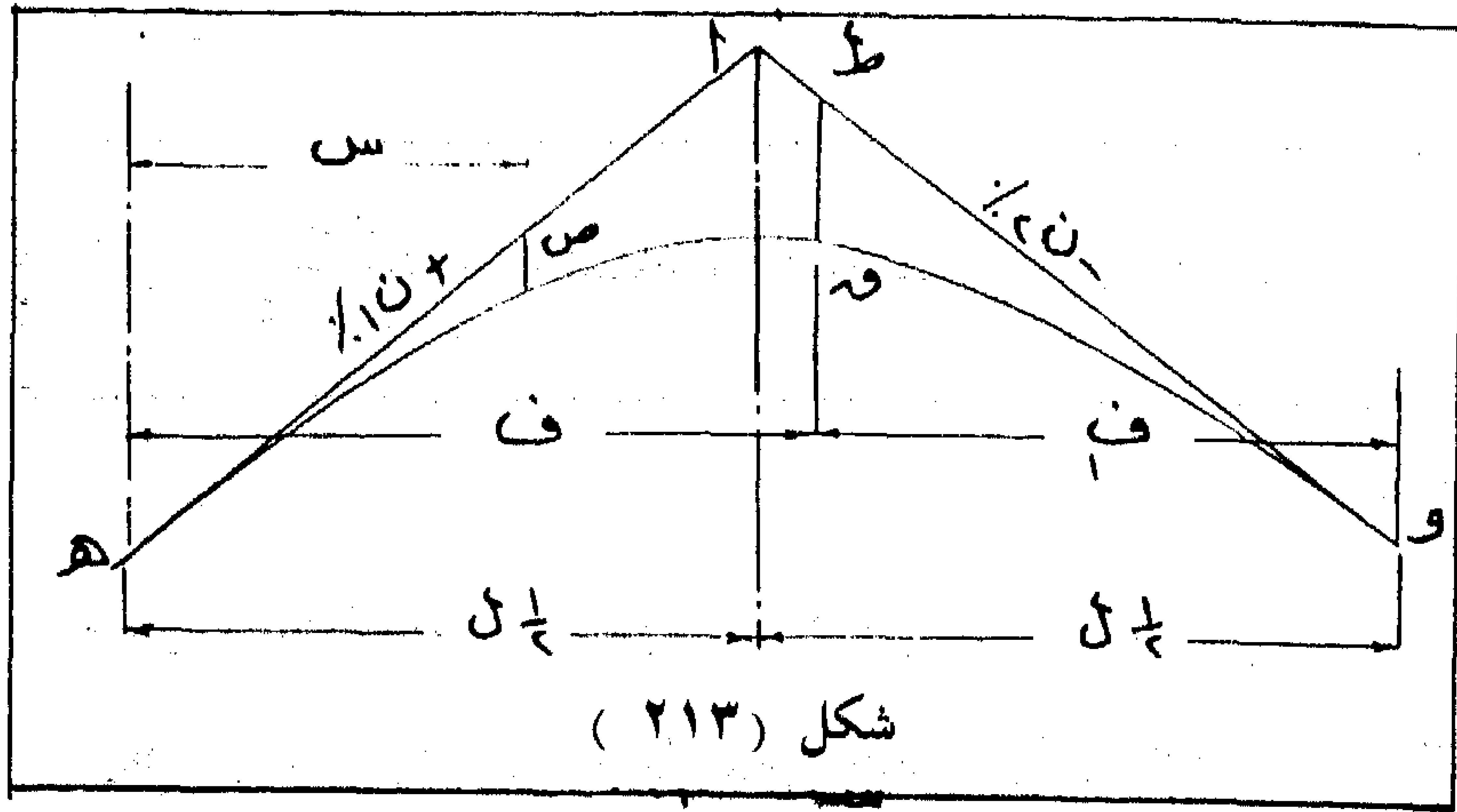
لدينا $ص_هـ = ا\ س^2_هـ = ا \times \frac{ل^2}{4}$

٦ ـــ يقسم المنحني إلى أقسام متساوية بحيث تكون نقطة حـ نهاية أحد الأقسام وفى منتصف المنحنى فإذا أعتبرنا هذه الأقسام هى وحدات الأحداثى السينى فيمكن الحصول على المقدار الثابت ا .

٧ ـــ بالتعويض بالقيم المختلفة للمقدار س فى المعادلة $ص = ا\ س^2$ فنحصل على قيم ص المقابلة ـــ وبطرح هذه القيم من مناسيب خط الأنحدار نحصل على مناسيب النقط المختلفة على المنحنى الرأسى ـــ ويمكن تحقيق هذه القيم بأيجاد منسوب نقطة هـ .

إيجاد أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى :

قد يكون من الضرورى أحياناً إيجاد أعلى نقطة على المنحنى ومنسوبها وذلك فى حالة المنحنيات المحدبة ، أو أوطى نقطة فى حالة المنحنيات المقعرة . لدينا فى شكل (٢١٣) .



شكل (٢١٣)

معدل التغير (م) = $\frac{هـ_1 - هـ_2}{ل}$

ميل المماس عند أعلى أو أوطى نقطة = صفر .

فإذا فرض أن ى هى أعلى نقطة على مسافة ف من هـ فإن :

طول المنحنى الجزئى بين هـ ، ى = ف =

$$\frac{\text{الفرق الجبرى بين ميلى المماسين عند ى ، هـ}}{م} = \frac{هـ_1 - \text{صفر}}{م}$$

لأن الميل عند ى = صفر

وبالتعويض عن م فإن :

ف = $\frac{ل\ هـ_1}{هـ_1 - هـ_2}$ = المسافة من أول المنحنى حتى أعلى نقطة أو أوطى نقطة

...... (١٦٣)

وبالمثل :

$$ف_١ = \frac{ل ه_١}{ه_١ - ه_٢} = \text{المسافة من نهاية المنحنى حتى أعلى أو أوطى نقطة}$$

.... (١٦٤)

منسوب قمة المنحنى = منسوب ط (على المماس) — ص ر

مثال — لو كان إنحدارا المماسين لمنحنى رأسى هما + ٣,٠٠٪ ، — ٢,٠٠٪ وطول المنحنى ٤٠٠ متر فإن أعلى نقطة تكون على بعد ف من أول المنحنى .

$$ف = \frac{٤ \times ٣}{٣ - (-٢)} = ٢,٤ \text{ بمئات الأمتار}$$

$$\text{ومن آخر المنحنى } ف_١ = \frac{٤ \times ٢}{٣ - (-٢)} = ١,٦ \text{ بمئات الأمتار}$$

أمثلة على تخطيط المنحنى الرأسى

مثال ١ — أوجد مناسيب النقط المختلفة كل ٥٠ متر والواقعة على منحنى رأسى يصل بين انحدارين + ٣,٢٪ ، — ٢,٥٪ . علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ١٧١,٤٠ م وطول المنحنى ٤٠٠ متر .

الحـــل :

فى شكل (٢١٤) :

$$١ \text{ — منسوب نقطة التماس أ } = ١٧١,٤٠ - \frac{٣,٢}{١٠٠} \times ٢٠٠$$

$$= ١٦٥,٠٠ \text{ مترا}$$

المنحنى الرأسي

+ ٢٫٣٢٪

-٢٫٥٠٪

(١٦٥٫٣٠)

١٦٦٫٤٢

١٦٧٫٤٩

١٦٨٫٢٠

١٦٨٫٥٠

١٦٨٫٥٥

١٦٨٫١٩

١٦٧٫٤٨

(١٦٦٫٤٠)

(١٧٧٫٨٠)

٥٠ ٥٠ ٥٠ ٥٠ ٥٠ ٥٠ ٥٠ ٥٠

ل = ٤٠٠ م

شكل (٢١٤)

٢ ــ منسوب نقطة التماس حـ = ١٧١,٤٠ ــ $\frac{٢,٥}{١٠٠}$ × ٢٠٠

= ١٦٦,٤٠ مترا

ولحساب مناسيب نقط المنحنى نتبع إحدى طريقتين :

الطريقة الأولى ــ مناسيب النقط على المنحنى وحسابها من أحد المماسين مع استعمال المعامل (ا) :

١ ــ نوجد مناسيب كل النقط (١ ــ ٨) التى على المماس ا ب أو إمتداده وعلى مسافات كل منها ٥٠ مترا ، أى النقط التى تقع مباشرة فوق نقط المنحنى المراد إيجاد مناسيبها . (جدول ٢٧) .

منسوب أى نقطة على المماس = ١٦٥,٠٠ + $\frac{٣,٢}{١٠٠}$ × بعد النقطة عن ا

= ١٦٥,٠٠ + $\frac{٣,٢}{١٠٠}$ × ٥٠ × عدد المحطات للنقطة

= منسوب النقطة ١٦٥,٠٠ + ١,٦ × عدد المحطات

(أنظر العمود ٢ فى الجدول)

٣ ــ منسوب نقطة (٤) منتصف الوتر ا حـ

= $\frac{١}{٢}$ (١٦٥,٠٠ + ١٦٦,٤٠)

= ١٦٥,٧٠ م

٤ ــ منسوب نقطة هـ منتصف المنحنى = $\frac{١}{٢}$ (١٧١,٤٠ + ١٦٥,٧٠)

= ١٦٨,٥٥ م

ويمكن إيجاد منسوب هـ مباشرة كما يلى :

$$\text{ص}_{هـ} = \frac{\text{ل} (\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2)}{8} = \frac{4 (2,5 + 3,2)}{8} = 2,85 \text{ متر}$$

منسوب هـ = ١٧١,٤٠ — ٢,٨٥ = ١٦٨,٥٥ متر

٥ — نحسب ا من المعادلة ا س^2 =

١٧١,٤٠ — ١٦٨,٥٥ = ا × $(4)^2$

وذلك لإعتبار $\frac{1}{2}$ ل = ٤ فترات كل منها ٥٠ مترا

ا = ٠,١٧٨١

٦ — نحسب ص = ا س^2 للنقط كما هو مبين فى عمود (٣) من الجدول (٢٧) وقد أعطى كل أحداثى إشارة سالبة حيث أنها سوف تطرح من منسوب النقطة المقابلة على المماس فتنتج مناسيب النقط على المنحنى (عمود ٤) .

٧ — تحقيق الحساب ، تحت الفروق الثانية (عمود ٥) فيجب أن تكون متساوية ، ويجب مراعاة الأشارات عند إيجاد هذه الفروق .

٨ — المسافة الأفقية ف $= \frac{\text{ل هـ}_1}{\text{هـ}_2 - \text{هـ}_1} = \frac{400 \times 3,2}{2,5 + 3,2} = 224,6$ متر

منسوب قمة المنحنى ى $= 165,00 + \frac{3,2}{100} \times 224,6$

$- 0,1781 \times \frac{(224,6)^2}{(50)^2}$

$= 165,00 + 7,19 - 3,59$

= ١٦٨,٦٠ متر

جدول (٢٧)

رقم النقطة	المسافة (١)	المناسيب على المماس (٢)	الأحداثي ص = ا س^{٢} (٣)	المناسيب على المنحنى (٤)	الفروق فى المناسيب (٥) الأولى	الثانية
(صفر)	صفر	١٦٥,٠٠		١٦٥,٠٠		
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (١)^{٢}		١,٤٣	
(١)	٥٠	-١٦٦,٦٠	٠,١٧٨	١٦٦,٤٢		٠,٣٥
		١,٦٠	٠,١٧٨ (٢)^{٢}		١,٠٧	
(٢)	١٠٠	-١٦٨,٢٠	٠,٧١٢	١٦٧,٤٩		٠,٣٦
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٣)^{٢}		٠,٧١	
(٣)	١٥٠	-١٦٩,٨٠	١,٦٠٢	١٦٨,٢٠		٠,٣٦
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٤)^{٢}		٠,٣٥	
(٤)	٢٠٠	-١٧١,٤٠	٢,٨٤٨	١٦٨,٥٥		٠,٣٥
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٥)^{٢}		٠,٠٠	
(٥)	٢٥٠	-١٧٣,٠٠	٤,٤٥١	١٦٨,٥٥		٠,٣٦
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٦)^{٢}		٠,٣٦	
(٦)	٣٠٠	-١٧٤,٦٠	٦,٤٠٨	١٦٨,١٩		٠,٣٥
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٧)^{٢}		٠,٧١	
(٧)	٣٥٠	-١٧٦,٢٠	٨,٧٢٢	١٦٧,٤٨		٠,٣٦
		١,٦٠	٠,١٧٨ × (٨)^{٢}		٠,٠٧	
(٨)	٤٠٠	-١٧٧,٨٠	١١,٣٩٢	١٦٦,٤١		

الطريقة الثانية ــ حساب مناسيب نقط المنحنى من المماسين مع أستعمال نسب المسافات :

نتبع الخطوات (٢ ــ ٤) السابقة .

ص هـ = ١٧١,٤٠ ــ ١٦٨,٥٥ = ٢,٨٥ مترا

٥ ــ يحسب العمود (٣) كالآتى :

$ص_١ = ٢,٨٥ \left(\frac{١}{٤}\right)^٢$ ،

$ص_٢ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{٢}{٤}\right)^٢$ ،

$ص_٣ = ٢,٨٥ \left(\frac{٣}{٤}\right)^٢$

ويمكن أن نستمر هكذا حتى نقطة (٨) ثم نكمل الخطوات كما سبق أو يمكن إيجاد المناسيب على المماس حـ ب بنفس الطريقة التى أوجدنا بها مناسيب المماس ا ب ، أى أن مناسيب النقط على المماس .

منسوب المحطة ٧ = $١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٥٠$

(حيث ١٦٦,٤٠ منسوب حـ كما سبق إيجاده) .

منسوب المحطة ٦ = $١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٢ \times ٥٠$

منسوب المحطة ٥ = $١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٣ \times ٥٠$

ومناسيب النقط على المنحنى .

لإيجاد مناسيب النقط على المنحنى نأتى بمقدار :

$ص_٧ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{١}{٤}\right)$

$$\text{ص}_{٦} = ٢{,}٨٥ \times \left(\frac{٢}{٤}\right)^{٢}$$

$$\text{ص}_{٥} = ٢{,}٨٥ \times \left(\frac{٣}{٤}\right)^{٢}$$

ونطرح $\text{ص}_{٧}$ ، من منسوب المحطة ٧ ، $\text{ص}_{٦}$ من منسوب المحطة ٦ ، وبالمثل للمحطة ٥ للحصول على مناسيب نقط المنحنى .

مثال ٢ ــ يراد توصيل إنحدار إلى أسفل قدره ١٪ وانحدار إلى أعلى قدره متر واحد كل ٣٠٠ متر بمنحنى رأسى بمعدل تغير فى الانحدار قدره ٠,٥٥٥ فإذا كان منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين ١١٨,٩٥ فعين مناسيب النقط المختلفة على المنحنى وعين كذلك منسوب أوطى نقطة على المنحنى وبعد هذه النقطة عن أول المنحنى .

الحـــل :

فى شكل (٢١٥) :

طول المنحنى $\text{ل} = \frac{\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢}}{\text{م}} \times ١٠٠$

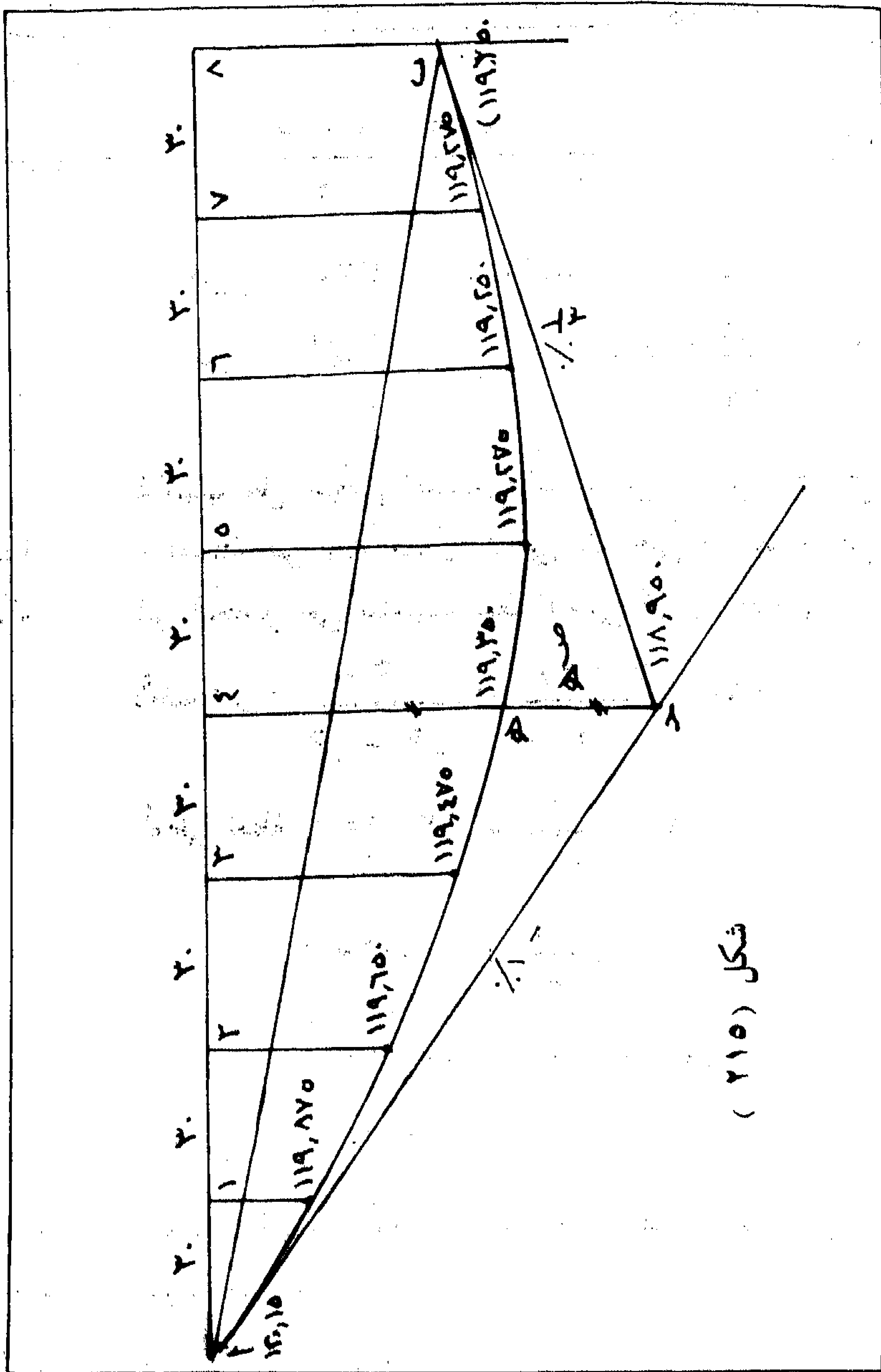
$$\text{ل} = \frac{-١ - \frac{٨}{٣}}{٠{,}٥٥٥} \times ١٠٠$$

$$= \frac{٤ \times ١٠٠}{٣ \times ٠{,}٥٥٥} = ٢٤٠ \text{ مترا}$$

منسوب أول نقطة $= ١١٨{,}٩٥ + \frac{٢٤٠}{٢} \times \frac{١}{١٠٠}$

$$= ١١٨{,}٩٥ + ١{,}٢٠ = ١٢٠{,}١٥$$

منسوب آخر نقطة $= ١١٨{,}٩٥ + \frac{٢٤٠}{٢} \times \frac{١}{٣ \times ١٠٠}$



شكل (٢١٥)

$= ١١٨,٩٥ + ٠,٤٠ = ١١٩,٣٥$

منسوب ء $= \frac{١٢٠,١٥ + ١١٩,٣٥}{٢} = ١١٩,٧٥$

منسوب هـ $= \frac{حـ + ء}{٢} = \frac{١١٩,٧٥ + ١١٨,٩٥}{٢} = ١١٩,٣٥$

$ص_{هـ} = ١١٩,٣٥ - ١١٨,٩٥ = ٠,٤٠$

$ص_{هـ} = ا\, س^{٢}$ ∴ $ا = \frac{ص}{س^{٢}} = \frac{٠,٤}{١٦} = ٠,٠٢٥$

ولإيجاد المناسيب على المنحنى نحسب المناسيب على المماس ا حـ كل ٣٠ مترا وتحسب المسافة ص (الأحداثى الرأسى للمنحنى) وتطرح ص من مناسيب المماس لنحصل على مناسيب نقط المنحنى كما فى الجدول (٢٨) .

المسافة الأفقية ف $= \frac{ل\, هـ_{١}}{هـ_{١} - هـ_{٢}} = \frac{٢٤٠ \times ٣}{٤} = ١٨٠$ متر

منسوب أوطى نقطة $= ١٢٠,١٥ - \frac{١}{١٠٠} \times ١٨٠$

$+ ٠,٠٢٥ \times (\frac{١٨٠}{٣٠})^{٢}$

$= ١٢٠,١٥ - ١,٨٠ + ٠,٩٠$

$= ١١٩,٢٥$

ويمكن حساب ذلك بأن أوطى نقطة ناحية النصف الثانى من المنحنى فيحسب المنسوب من ب .

منسوب أوطى نقطة $= ١١٩,٣٥ - \frac{١}{٣٠٠} \times ٦٠ + ٠,٤ \times (\frac{٦٠}{١٢٠})^{٢}$

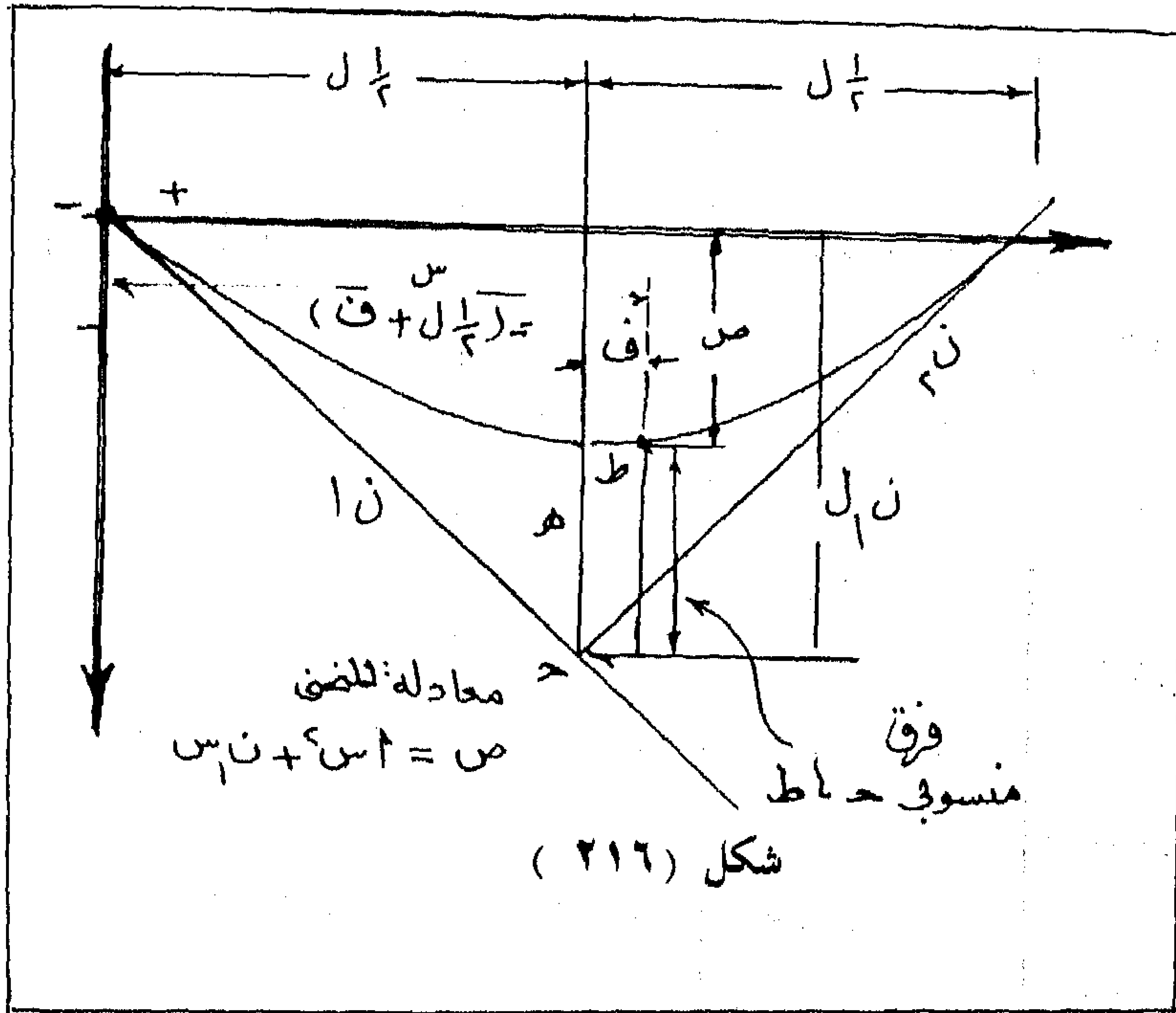
$= ١١٩,٢٥$ متر

جدول (٢٨)

النقطة	المسافة	مناسيب المماس	الأحداثى الرأسى ص	مناسيب المنحنى	الفروق	
					أول	ثانى
ا	صفر	١٢٠,١٥	صفر	١٢٠,١٥٠		
					-,٢٧٥	
١	٣٠	١١٩,٨٥	٠,٠٢٥	١١٩,٨٧٥		٠,٠٥٠
					-,٢٢٥	
٢	٦٠	١١٩,٥٥	٠,١٠٠	١١٩,٦٥٠		٠,٠٥٠
					-٠,١٧٥	
٣	٩٠	١١٩,٢٥	٠,٢٢٥	١١٩,٤٧٥		٠,٠٥٠
					-٠,١٢٥	
٤	١٢٠	١١٨,٩٥	٠,٤٠٠	١١٩,٣٥٠		٠,٠٥٠
					-,٠٧٥	
٥	١٥٠	١١٨,٦٥	٠,٦٢٥	١١٩,٢٧٥		٠,٠٥٠
					-,٠٢٥	
٦	١٨٠	١١٨,٣٥	٠,٩٠٠	١١٩,٢٥٠		٠,٠٥٠
					,٠٢٥	
٧	٢١٠	١١٨,٠٥	١,٣٢٥	١١٩,٢٧٥		٠,٠٥٠
					,٠٧٥	
ب	٢٤٠	١١٧,٧٥	١,٦٠٠	١١٩,٣٥٠		

تعيين طول منحنى رأسى يمر بنقطة محددة

فى كثير من الأحوال ، خاصة أثناء تصميم المنحنيات الرأسية فى المكتب ، نجد أنه من الضرورى إيجاد طول المنحنى الذى يمس خطين معلومين ويمر بنقطة معلومة . هذه النقطة (ط) شكل (٢١٦) قد تكون نقطة تقاطع طريقين آخرين أو تقابل المنحنى المطلوب بعمل صناعى معين .



شكل (٢١٦)

والكميات المعطاة غالباً ما تكون الأنحدارين ﻫ$_1$ ، ﻫ$_2$ ، ومنسوب وتدريج النقطة (ط) ، ومنسوب وتدريج أبتداء المنحنى أو نقطة تقاطع المماسين . وفى جميع الأحوال تعوض بالقيم المعلومة بدلالة طول المنحنى فى المعادلة ص = ا س^2 + ﻫ$_1$ س مع مراعاة الأشارات الجبرية ومنها نوجد طول المنحنى (ل) .

مثال ١ ــ معلوم ﻫ$_1$ = ــ ٤,٢٪ ، ﻫ$_2$ = + ١,٦٪ ، تدريج ط = ١٧,٠٠ ، منسوب ط = ٦١٤,٠٠ . عين طول المنحنى فى الحالات التالية .

الحالة الأولى : إذا علم منسوب وتدريج ابتداء المنحنى :

معلوم نقطة ابتداء المنحنى (ا) تدريجها = ١٣,٠٠ (التدريج هنا بمئات الأمتار) .

ومنسوبها ص = ٦٢٤,٥٣ .

الحـــل :

المعادلة العامة $\text{ص} = \text{ا}\ \text{س}^{٢} + \text{هـ}_{١}\ \text{س}$

$$\text{ص} = ٦٢٤,٥٣ - ٦١٤,٠٠ = - ١٠,٥٣$$

$$\text{ا} = \frac{\text{هـ}_{٢} - \text{هـ}_{١}}{٢\ \text{ل}} = \frac{+ ١,٦ - (- ٤,٢)}{٢\ \text{ل}}$$

$$= \frac{+ ٥,٨}{٢\ \text{ل}}$$

لاحظ فى معادلة ا أن $\text{هـ}_{٢}$ فى الأول ضرورى .

وبالتعويض فى المعادلة العامة للمنحنى .

$$- ١٠,٥٣ = \frac{٥,٨}{٢\ \text{ل}} (٤)^{٢} - (٤,٢) (٤)$$

لأن س = ١٧ — ١٣ = ٤

ومنها ل = ٧,٤٠ حيث ل بمئات الأمتار .

الحالة الثانية : إذا علم منسوب وتدريج نقطة تقاطع الانحدارين :

معلوم نقطة تقاطع الأنحدارين : تدريجها ١٦,٧٠ ومنسوبها ٦٠٨,٩٩ .

$$\text{ص} = \frac{- \text{هـ}_{١}\ \text{ل}}{٢} + (٦١٤,٠٠ - ٦٠٨,٩٩)$$

$$\frac{- ٤,٢\ \text{ل}}{٢} + ٥,٠١ = \left(\frac{٥,٨}{٢\ \text{ل}}\right) \left(\frac{١}{٢}\ \text{ل} + ٠,٣\right)^{٢} - ٤,٢ \times \left(\frac{١}{٢}\ \text{ل} + ٠,٣\right)$$

لأن $ف = ٠,٣ = $ تدريج ط ــ تدريج ح

$= ١٧,٠٠ - ١٦,٧٠ = ٠,٣$

ومنها $ل = ٧,٤٠$ بمئات الأمتار .

مثال ٢ ــ معلوم $هـ_١ = - ٤,٢٪$ ، $هـ_٢ = + ١,٦٪$. عين طول المنحنى إذا كان منسوب أوطى نقطة فيه هو ٦١٣,٣٨ ومنسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ٦٠٨,٩٩ م .

الحـــــل :

$$ا = \frac{هـ_٢ - هـ_١}{٢ ل} = \frac{١,٦ - (- ٤,٢)}{٢ ل} = \frac{٥,٨}{٢ ل}$$

$$س = \frac{هـ_١ ل}{هـ_١ - هـ_٢} = \frac{- ٤,٢ ل}{- ٥,٨}$$

$$ص = - \frac{٤,٢ ل}{٢} - (٦١٣,٣٨ - ٦٠٨,٩٩)$$

وبالتعويض فى المعادلة العامة .

$$- \frac{٤,٢ ل}{٢} + ٤,٢٩ = \frac{٥,٨}{٢ ل} \left(\frac{- ٤,٢ ل}{- ٥,٨} \right)^٢ - ٤,٢ \left(\frac{- ٤,٢ ل}{- ٥,٨} \right)$$

ومنها $ل = ٧,٤٠$ بمئات الأمتار .

مثال ٣ ــ المطلوب طول المنحنى الذى يصل بين أنحدارين + ٣,٢٪ ، ــ ٢,٥٪ علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هى ٧١,٤ وتدريجها ١٢٠ إذا كان هذا المنحنى يمر بنقطة تدريجها ١٢١ ومنسوبها ٦٨,١٩ .

الحـــــل :

المعادلة العامة للمنحنى هى $ص = ا س^٢ + هـ_١ س$

$$ا = \frac{هـ_٢ - هـ_١}{٢ ل} = \frac{- ٢,٥ - ٣,٢}{٢ ل} = \frac{- ٥,٧}{٢ ل}$$

$$\text{س} = \frac{\text{ل}}{٢} + (١٢١ - ١٢٠) = \frac{\text{ل}}{٢} + ١$$

$$\text{ص} = \frac{\text{هـ}_{١}\,\text{ل}}{٢} - (٧١,٤٠ - ٦٨,١٩)$$

$$\text{ص} = \frac{٣,٢\,\text{ل}}{٢} - ٣,٢١$$

وبالتعويض :

$$+ \frac{٣,٢}{٢}\,\text{ل} - ٣,٢١ = \frac{-٥,٧}{٢\,\text{ل}}\left(\frac{\text{ل}}{٢} + ١\right)^{٢} + ٣,٢\left(\frac{\text{ل}}{٢} + ١\right)$$

ومنها ل = ٤ بمئات الأمتار .

مثال ٤ — عين طول المنحنى إذا كانت أعلى نقطة به منسوبها ٦٨,٦٠ ويصل أنحدارين + ٣,٢٪ ، — ٢,٥٪ ومنسوب نقطة تقاطع الانحدارين هى ٧١,٤٠ .

الحـــل :

$$\text{س} = \frac{\text{هـ}_{١}\,\text{ل}}{\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢}} = \frac{٣,٢\,\text{ل}}{٥,٧}$$

$$\text{ص} = + \frac{\text{هـ}_{١}\,\text{ل}}{٢} - (٧١,٤٠ - ٦٨,٦٠)$$

$$\text{ا} = \frac{\text{هـ}_{٢} - \text{هـ}_{١}}{٢\,\text{ل}} = \frac{-٥,٧٠}{٢\,\text{ل}}$$

وبالتعويض فى المعادلة العامة $\text{ص} = \text{ا}\,\text{س}^{٢} + \text{هـ}_{١}\,\text{س}$

$$\frac{٣,٢\,\text{ل}}{٢} - ٢,٨ = \frac{-٥,٧}{٢\,\text{ل}}\left(\frac{٣,٢}{٥,٧}\right)^{٢} + ٣,٢\left(\frac{٣,٢\,\text{ل}}{٥,٧}\right)$$

$$1{,}6\ ل - 2{,}8 = \frac{-3{,}2}{5{,}7} \times 1{,}6\ ل + \frac{3{,}2 \times 3{,}2\ ل}{5{,}7}$$

$$5{,}7\ (1{,}6 - 2{,}8) = 3{,}2\ ل\ (1{,}60)$$

∴ ل = ٤,٠٠ بمئات الأمتار .

تطبيقات على المنحنيات الرأسية

المنحنيات الرأسية المركبة

يتكون المنحنى الرأسى المركب من منحنيين رأسيين بسيطين أو أكثر ولهما مماس مشترك عند نقطة تلاقيهما وهو يستعمل عندما لا تسمح الظروف المحلية باستعمال منحنى رأسى بسيط . وتجرى حسابات كل منحنى رأسى بسيط على حدة أى ا م ، م ب كل على حدة كما فى شكل (٢١٧) .

حيث أن $حـ_1$ ، $حـ_2$ فى منتصف ا حـ ، ب حـ على الترتيب .

فإن م حـ = م ى

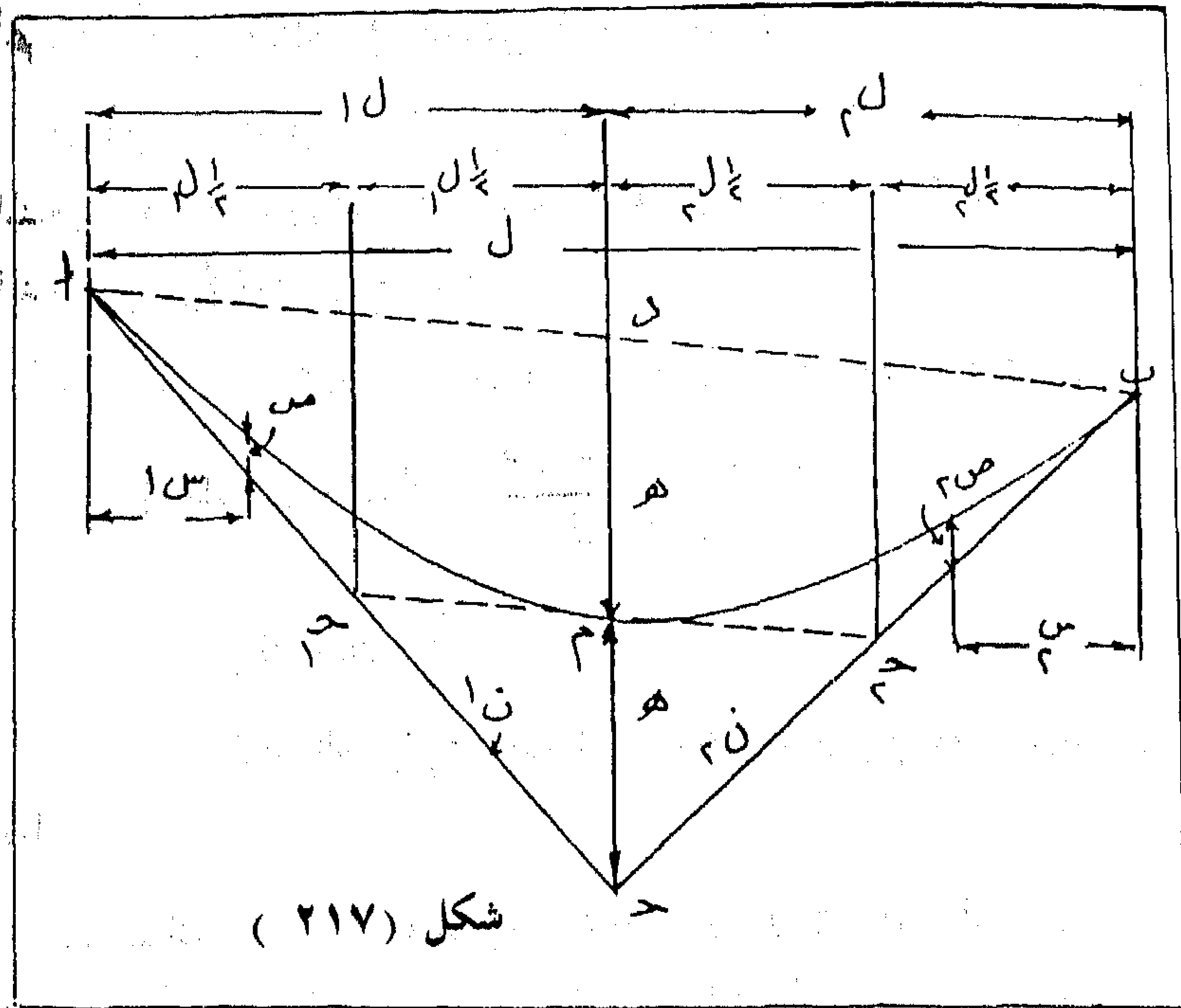
ميل ا ب = ميل المماس المشترك $حـ حـ_2 = \frac{هـ_1 ل_1 + هـ_2 ل_2}{ل_1 + ل_2}$
حيث $ل_1$ ، $ل_2$ بمئات الأمتار ومع مراعاة أشارات $هـ_1$ ، $هـ_2$

(١٦٥) ......

وبذا فإن معدل أبتعاد $حـ_1$ م، $حـ_1$ حـ عن بعض $= \frac{ن_1 ل_1 + ن_2 ل_2}{ل_1 + ل_2} - ن_1$

، م حـ = مقدار الابتعاد فى المسافة $\frac{1}{2} ل_1$

$$= \frac{1}{2} ل_2 \left(\frac{هـ_1 ل_1 + هـ_2 ل_2}{ل_1 + ل_2} - هـ_1 \right)$$



شكل (٢١٧)

$$هـ = \frac{هـ_2 ل_2 - هـ_1 ل_2}{ل_1 + ل_2} \cdot \frac{1}{2} ل_1 =$$

$$هـ = \frac{ل_1 ل_2 (هـ_2 - هـ_1)}{2 (ل_1 + ل_2)} \qquad \text{...... (١٦٦)}$$

حيث $ل_1$ ، $ل_2$ بمئات الأمتار ، هـ بالمتر .

$$ص_1 = هـ \cdot \left(\frac{س_1}{ل_1}\right)^2 \text{ ، } ص_2 = هـ \left(\frac{س_2}{ل_2}\right)^2 \qquad \text{...... (١٦٧)}$$

أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الرأسى المركب :

ان أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الرأسى المركب قد تقع على أى من المنحنيين وموقعها يتوقف على مقدار انحدارى المماسين وكذلك طول كل من المنحنيين . ولإيجاد موقع هذه النقطة نتبع الخطوات التالية :

١ ــ نحسب مقدار ميل المماس المشترك من المعادلة (١٦٥) السابقة .

$$\text{ميل المماس المشترك} = \frac{هـ_{١} ل_{١} + هـ_{٢} ل_{٢}}{ل_{١} + ل_{٢}}$$

ميل المماس له حالتان :

ا ــ أن يساوى الصفر وفى هذه الحالة تكون أوطى أو أعلى نقطة عند نقطة تقابل المنحنيين .

ب ــ أن تكون إشارته مثل اشارة $هـ_{١}$ وبذا لا تقع أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الأول بل تقع على المنحنى الثانى وبالمثل لو كانت الاشارة مثل اشارة $هـ_{٢}$ فإنها تقع على المنحنى الأول ومبين ذلك فى المثال (٢) .

مثال (١) :

معلوم $هـ_{١}$ = − ٣٪ ، $هـ_{٢}$ = + ٢,٠٪ ، ل = ٤٠٠ متر ،

$ل_{١}$ = ١٥٠ متر ، $ل_{٢}$ = ٢٥٠ متر ، $س_{١}$ = ٥٠ متر ،

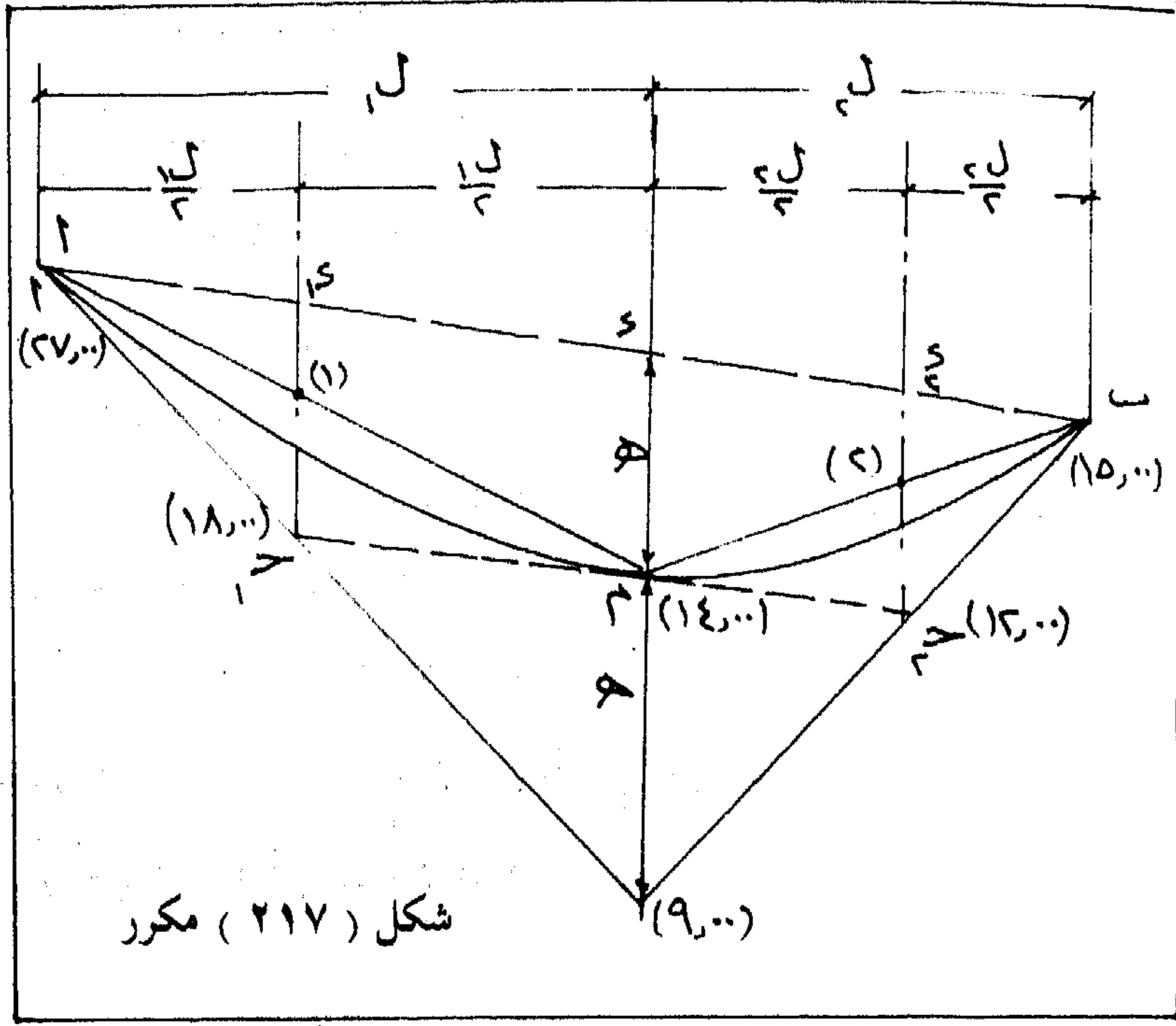
$س_{٢}$ = ١٠٠ متر أوجد هـ ، $ص_{١}$ ، $ص_{٢}$.

الحــــل :

$$هـ = \frac{١,٥٠ \times ٢,٥٠}{٢ (١,٥٠ + ٢,٥٠)} \times (٣,٠٠ + ٢,٠٠) = ٢,٣٤ \text{ متراً}$$

$$ص_{١} = ٢,٣٤ \times \left(\frac{٠,٥٠}{١,٥٠} \right)^{٢} = ٠,٢٦ \text{ من المتر}$$

$$ص_{٢} = ٢,٣٤ \times \frac{١^{٢}}{(٢,٥٠)} = ٠,٣٨ \text{ من المتر}$$



شكل (٢١٧) مكرر

مثال (٢) :

المعلوم منحنى رأسى مركب من منحنيين رأسيين بسيطين يتقابلان فى نقطة م منسوبها (١٤,٠٠) ويصل انحدارين هـ$_{1}$ = − ٣٪ ، هـ$_{2}$ = + ٢,٠٠٪ ، فإذا كان ل$_{1}$ = ٦٠٠ متر ، ل$_{2}$ = ٣٠٠ متر فعين :

١ ــ مناسيب بداية ونهاية المنحنى المركب .
٢ ــ مناسيب منتصف كلاً من المنحنيين البسيطين .
٣ ــ منسوب منتصف المنحنى المركب .
٤ ــ منسوب وبعد أوطى نقطة على المنحنى المركب من البداية .

الحــــل :

١ ــ لتعيين منسوب بداية ونهاية المنحنى المركب (ا) ، (ب) لابد من حساب المسافة هـ أولاً .

$$\text{هـ} = \frac{\text{ل}_{١}\ \text{ل}_{٢}\ (\text{هـ}_{٢} - \text{هـ}_{١})}{٢\ (\text{ل}_{١} + \text{ل}_{٢})}$$

$$\text{هـ} = \frac{٦ \times ٣\ (٢ + ٣)}{٢\ (٦ + ٣)} = \frac{١٨ \times ٥}{٢ \times ٩} = ٥ \text{ أمتار}$$

$\therefore$ (حـ) = ١٤,٠٠ — ٥ = (٩,٠٠)

(أ) = (حـ) + $\text{هـ}_{١} \times \text{ل}_{١}$

(أ) = (حـ) + ٣ × ٦ = ٩ + ١٨ = (٢٧,٠٠) منسوب البداية

(ب) = (حـ) + $\text{هـ}_{٢} \times \text{ل}_{٢}$

= ٩ + ٢ × ٣ = ٩ + ٦ = (١٥,٠٠) منسوب النهاية

٢ ـ لتعيين مناسيب منتصف كلاً من المنحنيين .

$$(\text{حـ}_{١}) = (\text{أ}) - \frac{\text{ل}_{١}}{٢} \times \text{هـ}_{١}$$

$$= ٢٧,٠٠ - \frac{٦}{٢} \times ٣$$

($\text{حـ}_{١}$) = ٢٧ — ٩ = (١٨,٠٠)

$$(\text{حـ}_{٢}) = ١٥,٠٠ - \frac{٣}{٢} \times ٢ = (١٢,٠٠)$$

$$\text{إنحدار حـ}_{١}\ \text{حـ}_{٢} = \frac{٦,٠٠}{٤٥٠} = ١,٣٣٣\%$$

$$\text{منسوب منتصف الوتر (١)} = ٢٧ - \frac{(٢٧ - ١٤)}{٢}$$

= ٢٧ — ٦,٥ = (٢٠,٥)

$$\text{منسوب منتصف الوتر (٢)} = ١٤ + \frac{(١٥ - ١٤)}{٢}$$

= (١٤,٥٠)

منسوب منتصف المنحنى الأول =

$$\frac{(1) + (ح_1)}{٢} = \frac{١٨ + ٢٠,٥}{٢} = ١٩,٢٥$$

منسوب منتصف المنحنى الثانى =

$$\frac{(2) + (ح_2)}{٢} = \frac{١٤,٥٠ + ١٢,٠٠}{٢} = ١٣,٢٥$$

٣ ــ لايجاد منسوب منتصف المنحنى المركب :

منتصف المنحنى المركب هى النقطة الواقعة على مسافة ٤,٥٠ مترا من ا فى نطاق المنحنى الأول ولايجاد منسوبها نحسب منسوب النقط على المماس ا حـ ثم $ص_1$.

منسوب المنتصف على المماس = ٢٧ ــ ٤,٥٠ × ٣ = ١٣,٥٠

$$ص_1 = هـ \left(\frac{س_1}{ل_1}\right)^2$$

$$= ٥ \left(\frac{٤,٥٠}{٦}\right)^2 = ٢,٨١$$

منسوب منتصف المنحنى = ١٣,٥٠ + ٢,٨١ = (١٦,٣١)

٤ ــ لتعيين أوطى نقطة على المنحنى المركب :

$$\text{ميل المماس المشترك} = \frac{هـ_1 ل_1 + هـ_2 ل_2}{ل_1 + ل_2}$$

$$= \frac{-٣ \times ٦ + ٢ \times ٣}{٦ + ٣} = \frac{-١٢}{٩} = -\frac{٤}{٣} \text{ كل ١٠٠ متر}$$

وبما أن ميل المماس المشترك سالب ، $هـ_1$ سالبة فإن **أوطى نقطة** لاتقع على المنحنى الأول . وتقع على المنحنى الثانى حيث أول انحدار هو ــ $\frac{٤}{٣}$٪ ، الأنحدار الثالث + ٢٪ .

$$ف_٢ \text{ (من نهاية المنحنى الثانى) } = \frac{هـ_٢ \, ل_٢}{هـ_٢ - هـ \text{ (المماس المشترك)}}$$

$$= \frac{٢ \times ٣٠٠}{٢ + \frac{٤}{٣}} = ١٨٠ \text{ متر}$$

$$\text{منسوب المماس عند أوطى نقطة} = ١٥,٠٠ - \frac{١٨٠}{١٠٠} \times ٢ = ١١,٤٠ \text{ متر}$$

$$ص_{١٨٠} = \left(\frac{١٨٠}{٣٠٠}\right)^٢ \times ٥ = ١,٨٠ \text{ متر}$$

$$\therefore \text{ منسوب أوطى نقطة } = ١١,٤٠ + ١,٨٠ = ١٣,٢٠ \text{ متر}$$

مســـائل

١ ـــ منحنى رأسي يصل بين أنحدارين ا ب إلى أسفل بمقدار ثلاثة أمتار كل جنزير ، ب حـ إلى أعلى بمقدار ٢٤ فى المائة وطول المنحنى ٢٤٠ متراً ومنسوب نقطة س على ب حـ ، والتى تبعد عن حـ بمقدار ٤٥ متراً هو (– ٨,٤) متر . أوجد المناسيب كل ٣٠ مترا مع تحقيق العمل . وما منسوب أوطى نقطة وبعدها عن نهاية المنحنى .

٢ ـــ منحنى رأسي يصل بين إنحدارين ١,٨ متر كل جنزير إلى أسفل ، ١٥٪ إلى أعلى وذلك بين ا ، ب . ما مقدار الحفر أو الردم عند النقط المختلفة المبين مناسيبها بالجدول .

النقطة	البعد بالمتر	المنسوب بالمتر	النقطة	البعد بالمتر	المنسوب بالمتر
ا	صفر	٣٦,٢٠	٥	٢٥٠	٣٧,٦٢
١	٥٠	٣٣,٣٦	٦	٣٠٠	٣٦,٨٧
٢	١٠٠	٣٦,٨٤	٧	٣٥٠	٣٦,١٢
٣	١٥٠	٣٧,٨٢	ب	٤٠٠	٣٥,٨٠
٤	٢٠٠	٣٧,١٨			

٣ ـــ منحنى رأسي طوله ٣٠٠ متر يصل بين أنحدارين + ٤,٥٪ ، – ٥٪ ومنسوب منتصف الأنحدار الأول ١,٩٠ متراً ـــ عين مناسيب نقط المنحنى المختلفة لكل ٥٠ متراً من طوله وعين كذلك منسوب أعلى نقطة عليه وبعد هذه النقطة من نهاية المنحنى .

٤ ـــ ثلاثة طرق ا ب ، ا حـ ، ا ء على شكل منحنيات رأسية تتفرع من نقطة ا . المنحنى ا حـ يصل بين ا ، حـ إبتداء كوبرى وطوله ٣٦٠ متر ، إنحدار مماسيه ٤٨ سنتيمتراً إلى أسفل فى كل جنزير ، ١٦,٠٠ متر كل ألف متر

إلى أعلى . ا ب يمر بنقطة تدريجها ٢٣,٥٠ ومنسوبها ١٢,٠٠ وانحدارا مماسيه ٥,٢٪ إلى أعلى ، ٢,٢ إلى أسفل ، ا ء انحدارا مماسيه كما فى ا ب تماماً ولكنه يبدأ من نقطة بعد ا على الطريق غير معلوم تدريجها ولكن هذا المنحنى يمر بنقطة س تدريجها ٢٤,٢٠ ، وتدريج نقطة تقاطع مماسيه ٢٣,٧٠ ومنسوبها ١٨,١ ومنسوب س = ١٤,٤٠ .

تدريج ا = ١٨,٠٠ ومنسوبها ٦,٦٤ التدريج بمئات الأمتار والمطلوب :

أولاً : منسوب أوطى نقطة على المنحنى ا حـ ، بعد هذه النقطة عن إبتداء الكوبرى .

ثانياً : طول المنحنى الرأسى ا ب .

ثالثاً : طول المنحنى الرأسى ا ء .

٥ ـــ منحنى رأسى يصل بين انحدارين ـــ ١٠٪ إلى أسفل إلى اليمين والثانى + ١٢٪ إلى أعلى إلى اليمين توجد نقطة ء على الأنحدار الأول تدريجها ٣٤,٠٠ ومنسوبها ٦٧,١٠ متراً ، بينما توجد نقطة هـ على الأنحدار الثانى تدريجها ٣٥,٠٠ ومنسوبها ٦٩,١٠ متراً . ما طول المنحنى الرأسى الذى يمر بنقطة و وتدريجها ٣٤,٦٠٠ ومنسوبها ٦٤,٦٠ مترا . ما هى أوطى نقطة على المنحنى وما منسوبها ؟

٦ ـــ منحنى رأسى يصل بين انحدارين ا ب ، ب حـ وكان طول المنحنى ١٥٠ متراً وانحدار ا ب إلى أعلى بمقدار ٢٦٪ وأنحدار ب حـ إلى أسفل بمقدار ٣,٣٦م كل جنزير إلى أسفل وكان منسوب (ب) = (١٤,٨٥) متراً،أوجد فى جدول مناسيب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق العمل الحسابى للمناسيب على المنحنى ـــ وإذا كان تدريج نقطة التقاطع فى الأنحدارات السابقة هو ١٨,٦ متر وبنفس المنسوب السابق ـــ كم يكون طول المنحنى المار بالمنحدرين ونقطة ء التى منسوبها متران تحت سطح البحر وتكون أعلى نقطة فيه .

٧ ـــ منحنى رأسى طوله ٣٠٠ متر يصل بين انحدارين + ١١,٧٪ ، ـ ١٧,٨٪ فإذا أريد زيادة طول المنحنى إلى ٤٨٠ متر بحيث يتعدل الأنحدارين

ليصبحا متساويين — عين قيمة الانحدار الجديد إذا ظل معدل التغيير ثابتاً فى الحالتين .

٨ — قرب مدخل الاسكندرية يوجد طريقان على جانبى السكة الحديد ومتعامدان معها . يراد إنشاء كوبرى علوى على شكل منحنى رأسى ليصل بين الطريقين فوق خط السكة الحديد . فإذا كان انحدار الطريق الأول ١ إلى ٢٥ إلى أعلى وانحدار الطريق الثانى إلى ٣٠ إلى أسفل وكان الكوبرى العلوى لابد أن يمر على إرتفاع معقول فوق السكة ، فصمم على أن يكون منسوبه فوق نقطة مركز خط السكة تماماً يساوى ٢,٢٠ ومتراً وبعد هذه النقطة من بدء التدريج يساوى ٢,٥ كيلو متر . فإذا كانت نقطة تقاطع المماسين عند تدريج ٢٥,٤ ومنسوبها ٣,٦٠ متر . فاوجد :

أولاً — طول منحنى الكوبرى .
ثانياً — أعلى نقطة على الكوبرى من مركز خط السكة الحديد .
ثالثاً — إذا كان الكوبرى سيحمل على أعمدة تقام قواعدها على الخط الواصل بين طرفى المنحنى فأوجد ارتفاع العمود الأول المقام على بعد ٢٠ متراً من بداية المنحنى وارتفاع العمود عند أعلى نقطة على المنحنى .

٩ — ثلاث طرق فى منطقة جبلية تتلاقى جميعاً فى نقطة واحدة هى نقطة حـ التى منسوبها ٤,١٦ متر وتدريجها ٤٨,٠٠ فإذا كان ما هو معلوم عن الطرق الثلاث هو ما يلى :

طريق (١) : $ه_١$ = − ٨٠ سنتيمتر كل جنزير ، $ه_٢$ = ٣٠ سم كل جنزير وتدريج أوله ٤٣,٠٠ ومنسوب أوله = ١٢,٦٠ .

طريق (٢) : $ه_١$ ، $ه_٢$ كما فى الطريق الأول ولكن الطريق محدب إلى أعلى نقطة تقاطع المماسين ٤٧,٤٠ ومنسوبها ٩,١٠ م .

طريق (٣) : $ه_١$ = + ٦,٠ فى المائة ، $ه_٢$ = − ٤,٢ فى المائة حـ هى أعلى نقطة فيه ونقطة تقاطع المماسين كما فى الطريق الثانى .

أوجد طول كل من الطرق الثلاثة .

١٠ ــ منحنى مقعر انحداره الأول ــ ٣,٦٪ إلى أسفل وانحداره الثانى + ٣,٠٪ يراد ايجاد طول هذا المنحنى إذا كان سيمر بنقطة تدريجها ٧,٠٠٠ ومنسوبها ٢٣,٠٠ .

أولاً ــ إذا كانت نقطة ابتداء المنحنى تدريجها صفر ومنسوبها ٣٤,٤٢ .

ثانياً ــ إذا كانت نقطة تقاطع المماسين تدريجها ٦,٤٠ منسوبها ١٨,٠٠ .

ثالثاً ــ إذا كانت النقطة التى سيمر بها أوطى نقطة على المنحنى ومنسوبها هو ٢٢,٢ متراً ونقطة تقاطع المماسين كما فى ثانياً . التدريج بمئات الأمتار .

١١ ــ منحنى رأسى يمثل طريق يصل بين انحدارين ، الأول انحداره متر ونصف كل جنزير إلى أعلى ، والثانى انحداره إلى أسفل بمقدار ١ : ٢٥ فإذا كانت نهاية المنحنى عند نقطة فى مستوى سطح البحر وأريد إنشاء نقطة لمراقبة المرور فى أعلى نقطة على الطريق مع إنشاء طريق جديد متعامد مع الأول ، ويشترط أن تكون نقطة المرور هى أعلى نقطة فيه أيضاً ويبدأ هذا الطريق من قرية تبعد عن نقطة المرور المقترحة ٢٥٠ متراً وعلى أن يكون طول الطريق كله ٤٠٠ متراً . ما منسوب القرية إذا علم أن انحدارى الطريق الجديد متساويان صعوداً وهبوطاً وما منسوب أول نقطة على الطريق وتبعد بمقدار ٥٠ متراً عن القرية ، طول الطريق الأول = ٦٠٠ متر .

١٢ ــ منحنى رأسى يصل بين انحدارين ا ب ، ب حـ وكان طول المنحنى ١٥٠ متراً وانحدار ا ب إلى أعلى بمقدار ٢٢٪ . وانحدار ب حـ إلى أسفل بمقدار ٣,٠٠ جنزير إلى أسفل وكان منسوب ب يساوى ١٤,٨٥ متر . أوجد فى جدول مناسيب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق العمل الحسابى للمناسيب على المنحنى .

وإذا كان تدريج نقطة التقاطع فى الأنحدارات السابقة هو ١٨,٤ وبنفس المنسوب السابق كم يكون طول المنحنى المار بالمنحدرين ونقطة ء التى منسوبها متر ونصف تحت سطح البحر وتكون أعلى نقطة فيه .

١٣ ــ منحنى مقعر أنحداره الأول ٤,٨ متر لكل ٥٠ متراً إلى أسفل

وانحداره الثانى ٠,٦ متراً فى كل جنزير فى إتجاه إلى أعلى ، يراد إيجاد طول هذا المنحنى إذا كان سيمر بنقطة تدريجها صفراً ومنسوبها ٢٣,٠٠ متراً .

أولاً ــ إذا كانت نقطة إبتداء المنحنى تدريجها صفراً ومنسوبها ٣٤,٣٢ م .

ثانياً ــ إذا كانت نقطة تقاطع المماسين تدريجها ٦,٤٠ ومنسوبها ١٨,٠٠ م .

ثالثاً ــ إذا كانت النقطة التى سيمر بها المنحنى والمعلومة لدينا هى أوطى نقطة ومنسوبها هو ٢٢,٦ متراً ونقطة تقاطع المماسين كما فى ثانياً . التدريج بمئات الأمتار .

١٤ ــ منحنى يصل بين انحدارين ا ب ، ب حـ حيث ينحدر ا ب إلى أعلى بمقدار - ١٨٪ ، ب حـ ينحدر إلى أسفل بمقدار متر ونصف كل جنزير وطول المنحنى ٣٠٠ متر ومنسوب نقطة منتصف ا ب = - ١١,٧ متر . ما مناسيب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق الحسابات وما منسوب أعلى نقطة .

١٥ ــ عين طول المنحنى الرأسى الذى يصل بين انحدارين ١ إلى ٢٥ إلى أعلى ، صفر علماً بأن نقطة ابتداؤه منسوبها وتدريجها ٢٢,٠٠ ، ٢٤,٠٠ على الترتيب علماً بأن المنحنى يمر بنقطة تدريجها ٢٧,٠٠ ومنسوبها ٣١,٥٠ .

١٦ ــ منحنى رأسى مركب فيه الأنحدار الأول إلى أعلى بمقدار ١٨٪ والأنحدار الأخير ٢٤٪ إلى أسفل وطول المنحنى الأول ١٢٠ متر والثانى ٢٨٠ متر . أوجد :

أولاً ــ منسوب أعلى نقطة وبعدها عن آخر المنحنى المركب .

ثانياً ــ مناسيب النقط على المنحنى المركب كل ٥٠ متر .

ثالثاً ــ طول نفق يراد شقه من نقطة منتصف المنحنى الأول إلى منتصف المنحنى الثانى .

١٧ ــ منحنى رأسى مركب طوله الكلى ٦٠٠ متر ويصل بين انحدارين ا ب ، ب حـ الأول ١٠٪ إلى أسفل والثانى ٢٥٪ إلى أعلى وطول المنحنى الرأسى الأول ٢٤٠ متر والثانى ٣٦٠ متر والمطلوب .

أولاً ــ مناسيب المنحنى كله كل ٤٠ متر مرتبة فى جدول مع تحقيق العمل الحسابى .

ثانياً ــ مسافة ومنسوب أوطى نقطة فى المنحنى .

ثالثاً ــ انحدار المماس المشترك للمنحنيين .

علماً بأن منسوب النقطة على ثلث المماس من ناحية حـ هى ثلاثة أمتار .

١٨ ــ منحنى رأسى مركب طوله الكلى ٤٥٠ متر يصل بين ا ب الذى انحداره إلى أعلى ، ب حـ الذى انحداره إلى أسفل والانحدارين متساويين وأعلى نقطة فيه تبعد بمقداره ٦٠ متر عن حـ ومنسوب حـ فى مستوى سطح البحر . أوجد ما يلى :

أولاً ــ طول كل من جزئى المنحنى الرأسى .

ثانياً ــ إذا فرض أن كل من الأنحدارين يساوى ١٢٪ فما منسوب أعلى نقطة وكذلك مناسيب النقط كل ٢٠ متر .

ثالثاً ــ أنحدار المماس المشترك لجزأى المنحنى .

١٩ ــ منحنى رأسى يصل بين ا ب الذى ينحدر إلى أسفل بمقدار ٥ متر كل جنزير إلى ب ثم ب حـ بانحدار إلى أعلى قدره ٤٠ مترا كل نصف كيلو متر . فإذا كان منسوب النقطة والتى فى ثلث المسافة ب حـ من ناحية ب = ٨ متر تحت سطح البحر وكان طول المنحنى ٢٤٠ متر المطلوب :

أولاً ــ إيجاد المناسيب على المنحنى فى جدول كل ٣٠ متراً مع تحقيق العمل الحسابى .

ثانياً ــ منسوب أوطى نقطة على المنحنى .

٢٠ ــ ا ــ طريق ينحدر من ا إلى ب بمقدار ١,٨٠ متر لكل جنزير إلى أسفل ومن ب إلى حـ بمقدار ٢٠ (عشرون) فى المائة إلى أعلى يراد ايصالهما بمنحنى رأسى طوله ٥١٢ متراً ووضع بالوعه صرف عند أوطى نقطة فى المنحنى . أوجد مكان ومنسوب هذه البالوعة إلى ثلث رقم عشرى من المتر .

ب ــ طريق ينحدر إلى أعلى بمقدار ٣٢ فى المائة من ا إلى ب ، ثم بمقدار ٢٥ فى المائة إلى أسفل من ب إلى حـ . يراد ايصالهما بمنحنى رأسى بحيث يمر بنقطة دالتى ستوضع فيها نقطة مراقبة ومنسوبها ٤٨,٦٠ متراً ومنسوب نقطة تقاطع الأنحدارين ٥١,٤٠ مترا . أوجد طول هذا المنحنى إلى أقرب متر صحيح ــ فى الجزء ا من السؤال منسوب حـ = ١١,٠ متراً .

الباب الحادى والعشرون

مسافة الرؤية

(SIGHT DISTANCE)

أولاً — المنحنيات الرأسية المحدبة

أن القدرة على رؤية الطريق مسافة ما أمام قائدى السيارات والعربات ، بحيث تمكنهم من قيادة سياراتهم بأمان ، ذات أهمية قصوى فى تشغيل الطرق بكفاءة عالية ، هذه المسافة تسمى (مسافة الرؤية) . ويجب على المهندس عند التصميم أن يأخذ فى الاعتبار مسافة رؤية ذات-طول كاف للسائق بحيث يتحكم فى سرعة سيارته ليتفادى عقبة غير متوقعة فى الطريق ، وكذلك تمكنه فى الطرق ذات الخطوط المزدوجة أن يتخطى ويتجاوز سيارة أمامه دون خطر الأصطدام بسيارة قادمة فى الأتجاه المضاد ، حين ينتقل إلى الخط الآخر أثناء العبور كما فى شكل (٢١٨) .

ومسافة الرؤية تزود بها المنحنيات الرأسية والأفقية على السواء . وتنقسم مسافة الرؤية إلى قسمين :

أولاً — مسافة الأيقاف أو التوقف (Stopping or non-Passing)

مسافة التوقف هى ذلك الجزء المرئى من الطريق أمام السائق ، ويجب أن يكون الحد الأدنى لمسافة التوقف ما يمكن السائق من أن يوقف بأمان سيارة تسير بأقصى سرعة مسموح بها قبل وصولها إلى عقبة موجودة فى الطريق مثل برميل ملقى على الأرض . وبينما من المستحسن إطالة مسافة الرؤية عما سبق ، ويجب أن تكون هذه المسافة عند أى نقطة على الطريق كافية على الأقل لسائق غير متمرن من إيقاف سيارته فى الوقت المناسب قبل اصطدامه بالعقبة (شكل ٢١٨) .

ومسافة الإيقاف أو كما يسمونها أيضاً مسافة (عدم التجاوز) حسب المواصفات الجارى العمل بها عبارة عن « المسافة من عين السائق ، وتفرض

بأنها على ارتفاع ١,٣٠ مترا (٤ $\frac{١}{٢}$ قدماً) فوق سطح الطريق إلى عقبة ارتفاعها ١٠ سنتيمترات (٤ بوصة) عن أرض الطريق » .

ومسافة الايقاف يجب أن تكون متوفرة فى جميع أجزاء الطرق ذات الخطوط المزدوجة .

ثانياً ــ مسافة التجاوز (Passing Distance)

هى أقصى مسافة مطلوبة لسيارة لتخرج من الخط الذى تسير فيه ، وتنتقل إلى الخط المجاور لتتجاوز سيارة أمامها أيضاً وهى تسير فى الخط الأول ثم تعود ثانية إلى هذا الخط بأمان دون خطر الأصطدام بسيارة قادمة فى الاتجاه المضاد أو مضايقة السيارة التى تريد تجاوزها كما فى شكل (٢١٨) .

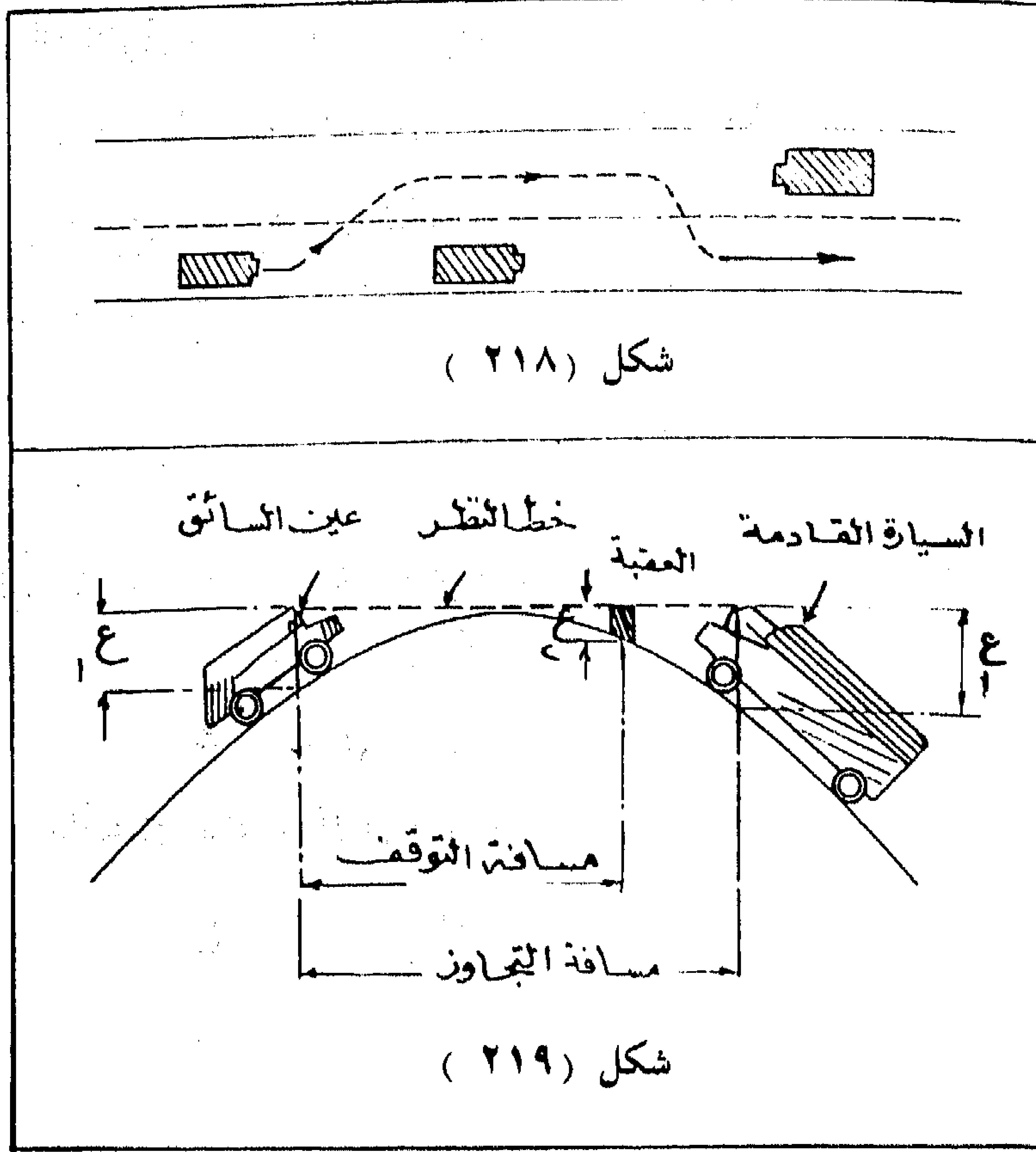
وتعرف مسافة التجاوز حسب المواصفات ، بأنهما « أطول مسافة بين عينى السائقين وتفرض بأنها على أرتفاع ١,٣٠ مترا (٤ $\frac{١}{٢}$ قدم) فوق سطح الطريق » (شكل ٢١٩) .

ومسافة التجاوز لا يجب توافرها فى جميع أجزاء الطريق ، وإنما يجب توافرها من موضع إلى آخر فى الطرق ذات الخطوط المزدوجة حسب ما تتطلبه الناحية العملية .

والجدول (٢٩) يبين فكرة واضحة عن علاقة السرعة وكل من نوعى مسافة الرؤية حسب المواصفات المتبعة .

جدول (٢٩)

السرعة كم/ساعة	٥٠	٦٠	٨٠	١٠٠
مسافة الايقاف(م)	٧٠	٨٥	١٢٠	١٦٥
مسافة التجاور (م)	٢٤٥	٣٣٥	٥٢٠	٦٤٠



شكل (٢١٩)

علاقة طول المنحنى بمسافة الرؤية

أولاً ــ طول المنحنى الرأسى (ل) أطول من مسافة الرؤية (ف) :

نفرض أن ل = طول المنحنى بالأمتار .

ف = مسافة الرؤية بالأمتار .

$ه_1$ ، $ه_2$ = النسبة المئوية للانحدارين .

$ع_1$ = أرتفاع عين السائق عن سطح الطريق .

$ع_2$ = أرتفاع العقبة عن سطح الطريق .

الحالة الأولى ـــ عندما تكون $ع_١ = ع_٢$

كما فى حالة مسافة التجاوز ونفرض فى هذه الحالة أن :

$ع_١ = ع_٢ = ع$ فى شكل (٢٢٠) :

$$٢ ع = م_١ \times \frac{١}{٢} ف - س = م_٢ \times \frac{١}{٢} ف \times س$$

$$و ب = ٤ ع = (م_١ \times م_٢) \times \frac{١}{٢} ف \quad ..... (١)$$

فإذا كانت α = التغير الكلى (مع مراعاة الأشارات الجبرية) .

$$= (ه_١ - ه_٢)$$

$$\beta = (م_١ - م_٢)$$

بالتعويض بالمقدار β فى (١) :

$$٤ ع = \beta \times \frac{١}{٢} ف$$

$$\beta = \frac{٨ ع}{ف} \quad ..... (٢)$$

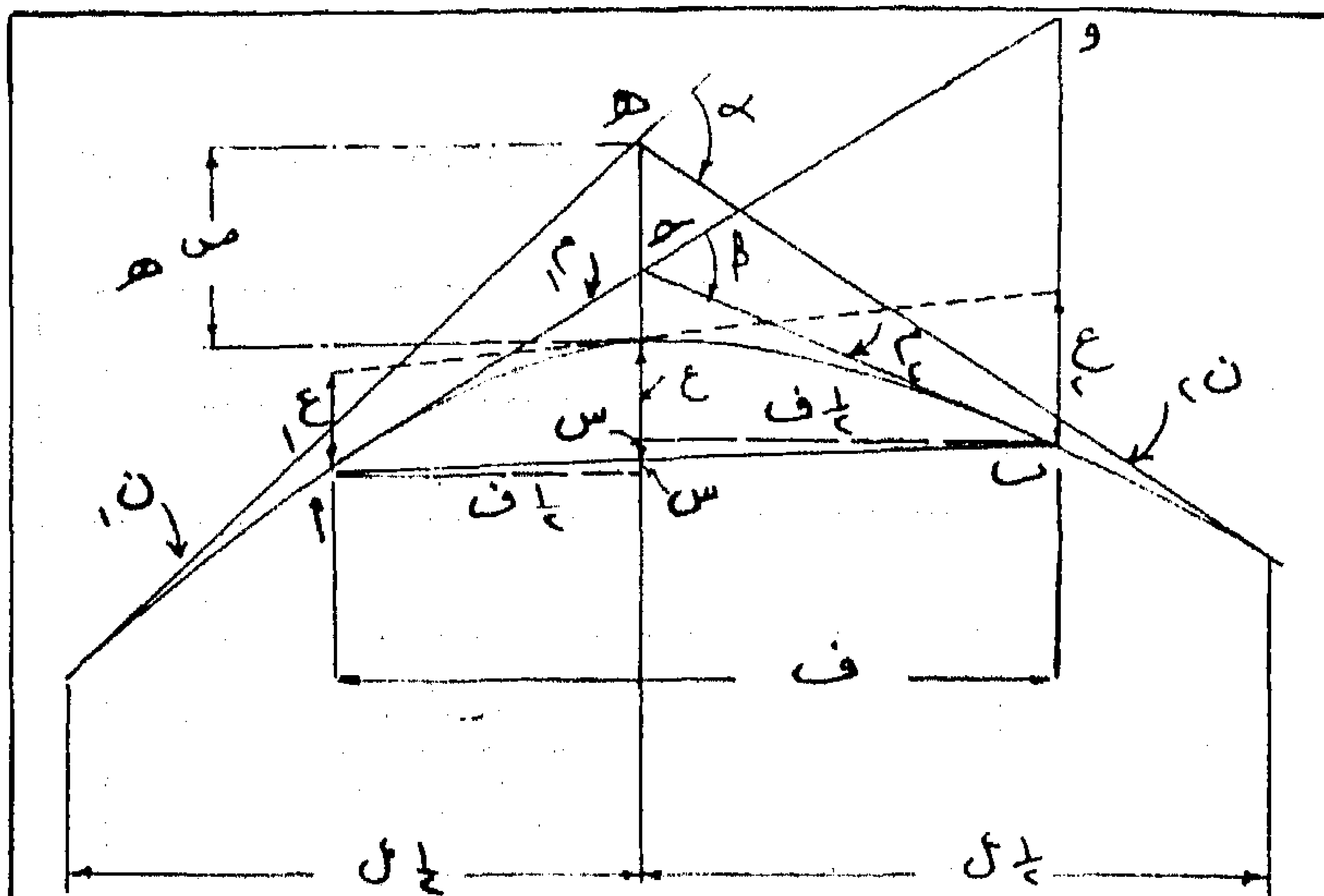
وبما أن طول المنحنى يتوقف على معدل التغير والتغير الكلى أى أن :

$$ل = \frac{ه_١ - ه_٢}{معدل\ التغير} ، ف = \frac{م_١ - م_٢}{معدل\ التغير}$$

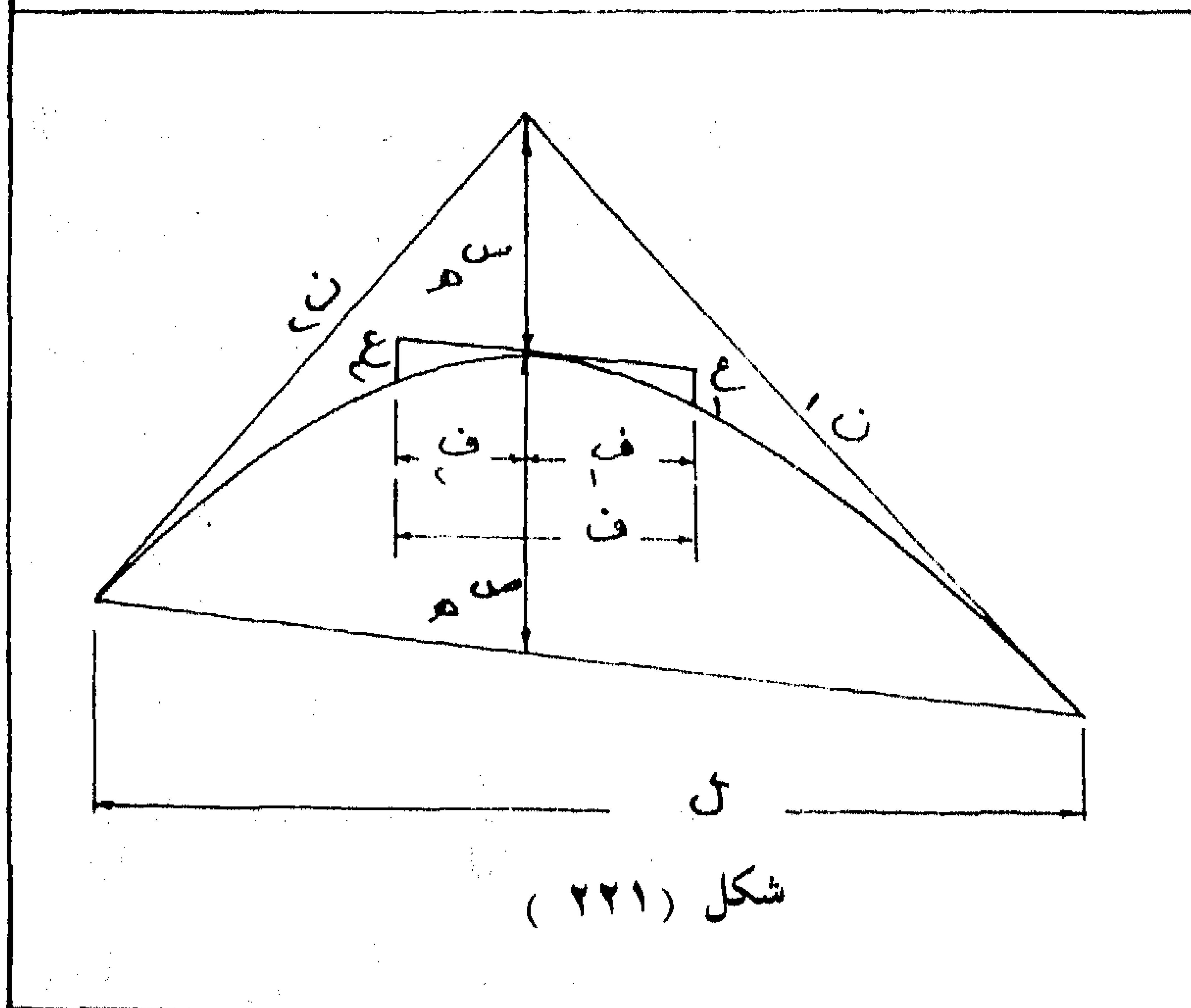
وبما أن المنحنى بالنسبة إلى ل هو نفس المنحنى بالنسبة إلى ف فإن معدل التغير واحد فى الأثنين أى :

$$\frac{ف}{ل} = \frac{م_١ - م_٢}{ه_١ - ه_٢} = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$ل = \frac{ف\ \alpha}{\beta}$$



شكل (٢٢٠)



شكل (٢٢١)

وبالتعويض عن β من (٢) :

$$ل = \frac{ف^{٢}\ \alpha}{٨\ ع}$$

وبالتعويض عن α بالمقدار $ه_{١} - ه_{٢}$

$$ل = \frac{ف^{٢}\ (ه_{١} - ه_{٢})}{٨\ ع} \quad \text{...... (١٦٩)}$$

$$ف^{٢} = \frac{٨\ ل\ ع}{ه_{١} - ه_{٢}} \quad \text{...... (١٧٠)}$$

ملحوظة : ل ، ف ، ع بالأمتار أى أن التعويض عن $ه_{١}$ ، $ه_{٢}$ يكون بالنسبة المئوية أى $\frac{٣}{١٠٠}$ مثلاً وليس ٣ فقط .

الحالة الثانية : إذا كانت $ع_{١}$ لا تساوى $ع_{٢}$:

كما فى حالة مسافة الإيقاف أو عدم التجاوز :

من شكل (٢٢١) :

$ع_{١} = ا\ ف^{٢}_{١}$ ، $ع_{٢} = ا\ ف^{٢}_{٢}$ ...... (١)

$ص_{ه} = ا\ (\frac{١}{٢}\ ل)^{٢}$ ...... (٢)

وبقسمة (١) ، (٢) :

$$\frac{٤\ ف^{٢}_{١}}{ل^{٢}} = \frac{ع_{١}}{ص_{ه}} \quad ، \quad \frac{٤\ ف^{٢}_{٢}}{ل^{٢}} = \frac{ع_{٢}}{ص_{ه}}$$

وبمعلومية $ص_{ه} = \frac{(ه_{١} - ه_{٢})}{٨}$

فإن :

$$\frac{\text{٤ ف}_1^2}{\text{ل}^2} = \frac{\text{٨ ع}_1}{\text{ل} \, (\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2)}$$

ومنهـــا :

$$\text{ف}_1 = \sqrt{\frac{\text{٢ ع}_1 \, \text{ل}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2}}$$

وبالمثل $\text{ف}_2 = \sqrt{\frac{\text{٢ ع}_2 \, \text{ل}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2}}$

وبالجمع $\text{ف} = \text{ف}_1 + \text{ف}_2$

$$\text{ف} = ١,٤١٤ \, (\sqrt{\text{ع}_1} + \sqrt{\text{ع}_2}) \times \sqrt{\frac{\text{ل}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2}}$$

...... (١٧١)

أو :

$$\text{ل} = \frac{\text{ف}^2 \, (\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2)}{(\sqrt{\text{٢ ع}_1} + \sqrt{\text{٢ ع}_2})^2}$$ ..... (١٧٢)

إذا وضعنا $\text{ع}_1 = \text{ع}_2$ فأن المعادلتين (١٧١) ، (١٧٢) تؤولان إلى المعادلتين (١٦٩) ، (١٧٠) وإذا عوضنا عن ع_1 ، ع_2 بالقيم الخاصة بها حسب المواصفات فاننا نحصل على المعادلات التى تستعمل فى هذه الحالات .

ثانياً ــ المنحنى الرأسى أقصر من مسافة الرؤية :

وهذا معناه أن (ل) أقصر من (ف) أى أن العربة والهدف المقابل يكونان على المماسين وليسا على المنحنى كما فى الحالة الأولى .

في شكل (٢٢٢) :

تغير الميل على المنحنى من حـ إلى و نقطة إبتداء المنحنى = ٢ ا ك

وهذا عبارة عن الفرق بين الميل من ب′ إلى و ، والميل من ب″ إلى و وبذا ب′ ب″ = ٢ ا ك ى .

$$\text{ع} = \text{ا ك}^{\text{٢}} + \text{٢ ا ك ى} .$$

وبالمثل $\text{ع}_{\text{٢}} = \text{ا ق}^{\text{٢}} + \text{٢ ا ق س}$.

$$\text{س} = \frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{٢ ا ق}} - \frac{\text{١}}{\text{٢}}\,\text{ق ا} .$$

$$\text{ى} = \frac{\text{ع}_{\text{١}}}{\text{٢ ا ك}} - \frac{\text{١}}{\text{٢}}\,\text{ك}$$

$$\text{ف} = \text{ى} + \text{ك} + \text{ق} + \text{س} .$$

$$= \frac{\text{ع}_{\text{١}}}{\text{٢ ا ك}} - \frac{\text{١}}{\text{٢}}\,\text{ك} + \text{ك} + \text{ق} + \frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{٢ ا ق}} - \frac{\text{١}}{\text{٢}}\,\text{ق}$$

$$= \frac{\text{ع}_{\text{١}}}{\text{٢ ا ك}} + \frac{\text{١}}{\text{٢}}\,\text{ل} + \frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{٢ ا (ل} - \text{ك)}} \qquad \text{..... (١)}$$

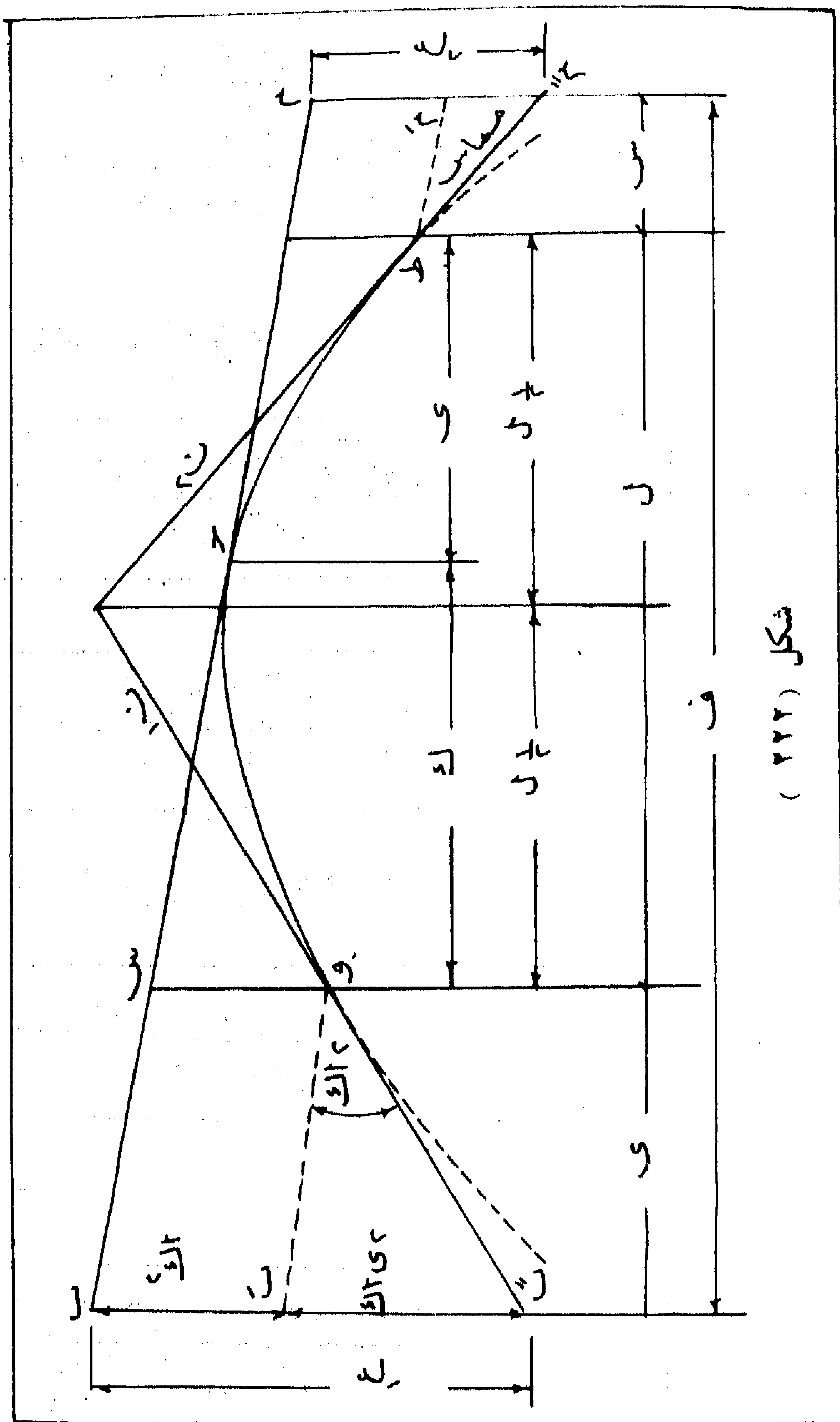
وبالتفاضل والمساواة بالصفر للحصول على أقل قيمة :

$$\frac{\text{ءف}}{\text{ءك}} = \text{صفر} = \frac{-\text{ع}_{\text{١}}}{\text{٢ ا ك}^{\text{٢}}} + \frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{٢ ا (ل} - \text{ك)}^{\text{٢}}}$$

$$\text{ك} = \frac{\text{ل}}{\text{١} + \sqrt{\frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{ع}_{\text{١}}}}}$$

$$\text{ل} - \text{ك} = \text{ك}\sqrt{\frac{\text{ع}_{\text{٢}}}{\text{ع}_{\text{١}}}}$$

المعلوم أن $\text{ا} = \frac{\text{هـ}_{\text{١}} - \text{هـ}_{\text{٢}}}{\text{٢}}$



شكل (٢٢٢)

وبالتعويض عنها فى المعادلة (١) :

$$\text{ف} = \frac{\text{ع}\left(1 + \frac{\sqrt{\text{ع}_2}}{\sqrt{\text{ع}_1}}\right)}{\text{هـ}_2 - \text{هـ}_1} + \frac{1}{2}\,\text{ل} + \frac{\text{ع}_1\,\text{ل}}{(\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2)\sqrt{\frac{\text{ع}_2}{\text{ع}_1}}}$$

وبالاختصار نحصل على :

$$\text{ف} = \frac{\text{ع}_1 + \text{ع}_2 + 2\sqrt{\text{ع}_1\,\text{ع}_2}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2} + \frac{1}{2}\,\text{ل} \qquad \text{(١٧٣)} \ldots\ldots$$

$$\text{ف} = \frac{\left(\sqrt{\text{ع}_1} + \sqrt{\text{ع}_2}\right)^2}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2} + \frac{1}{2}\,\text{ل} \qquad \text{(١٧٤)} \ldots\ldots$$

فإذا كانت $\text{ع}_1 = \text{ع}_2$ كما فى حالة مسافة التجاوز :

$$\text{ف} = \frac{1}{2}\,\text{ل} + \frac{4\,\text{ع}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2} \qquad \text{(١٧٥)} \ldots\ldots$$

أو :

$$\text{ل} = \frac{2\,(\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2)\,\text{ف} - 8\,\text{ع}}{\text{هـ}_1 - \text{هـ}_2} \qquad \text{(١٧٦)} \ldots\ldots$$

والآن لأختيار أى المعادلات تستعمل . معادلات ل أكبر من ف أم معادلات ف أكبر من ل ، نحل المعامل الآتى :

$$\frac{\text{ه}_1 - \text{ه}_2}{8}\ \text{، ف أو}\ \frac{\text{ه}_1 - \text{ه}_2}{8}\ \text{، ل أى قيمة ص هـ .}$$

واختيار أحد المعاملين يتوقف على أيهما المعلوم ف أم ل . فإذا كان المعامل الأول المعلوم فيه ف أكبر من ع فمعناه أن ص هـ أكبر من ع أى أن العربة على المنحنى أو بمعنى آخر ل أكبر من ف أما إذا كان العكس فمعناه أن العربة على المماس وبذلك تكون ف أكبر من ل . وبالمثل لو كان المعامل الثانى الذى فيه ل أكبر من ع أو أصغر منه فينطبق عليه ما سبق تماماً .

مثال : منحنى انحداره + ٤٪ ويتبعه انحدار − ٢٪ ، ع = ١,٥ متراً ، ف = ١٥٠ مترا . أوجد طول المنحنى .

الحـــــل :

$$\frac{(\text{ه}_1 - \text{ه}_2)\ \text{ف}}{8} = 6 \times \frac{150}{8} \times \frac{1}{100} = 1{,}13\ \text{مترا}$$

ضربنا فى $\frac{1}{100}$ لأننا كما ذكرنا وضعنا ه_1 ، ه_2 بالنسب المئوية لأن ف بالأمتار وليست بمئات الأمتار .

والقيمة ١,١٣ متر أقل من ع وبذا فإن ف أكبر من ل ومن ثم نستعمل المعادلة (١٧٦) .

$$\text{ل} = \frac{\frac{1}{100}\left[2\left(4-(-2)\right)\right]\times 150 - 8 \times 1{,}50}{6 \times \frac{1}{100}} = 100\ \text{متر}$$

ثانياً ــ المنحنيات الرأسية المقعرة :

تكلمنا فيما سبق على المنحنيات المحدبة من ناحية مسافة الرؤية فيها وسنبين فيما يلى مسافة الرؤية على المنحنيات المقعرة .

إن المنحنيات الرأسية المقعرة يحكمها عدة عوامل :

(١) مسافة الرؤية للنور الأمامى (Headlight Sight Distance) .

(٢) راحة الراكب .

(٣) عوامل صرف المياه .

(٤) المنظر العام للطريق .

١ ــ مسافة الرؤية للنور الأمامى (مسافة شعاع الكشاف الأمامى) :

أولاً ــ ف أصغر من ل :

فى المواصفات يعتبر أرتفاع كشاف الضوء الأمامى يساوى ٢,٥ قدماً فوق متوسط سطح الطريق وأن شعاع الضوء يميل بزاوية قدرها درجة واحدة مع الأفقى إلى أعلى .

فى شكل (٢٢٣) مماسات المنحنى ا ب هى ا حـ ، حـ ب .

نعتبر ا حـ ى كمحور أسناد أفقى .

ف = مسافة الرؤية من ا إلى تقاطع الشعاع من سطح الطريق عند $ب_١$

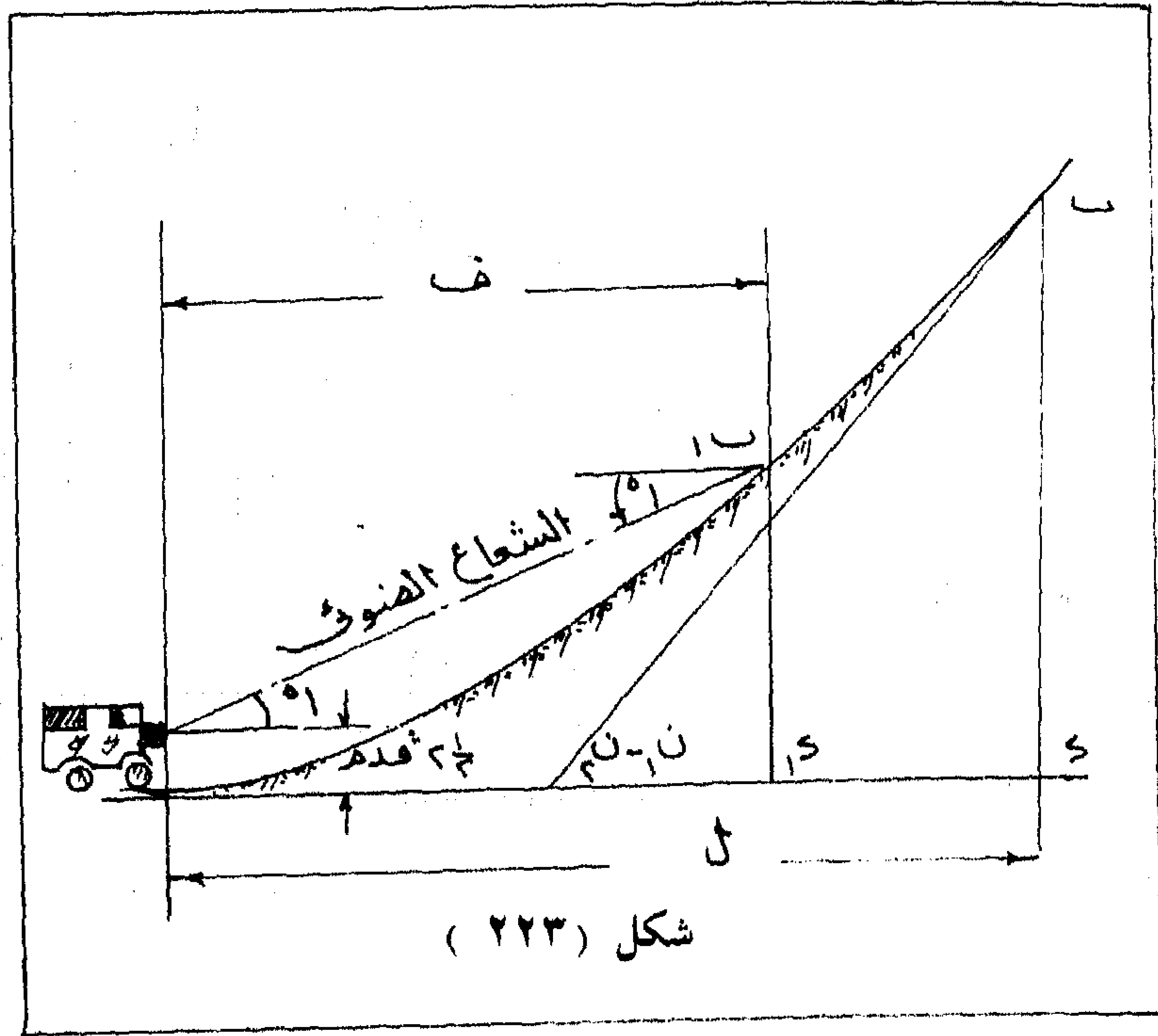
$$ب ى \text{ (قدم) } = (هـ_١ - هـ_٢) \times \frac{١}{٢} \text{ ل .}$$

$$ب_١ ى_١ \text{ (قدم) } = ب ى \times \left(\frac{ف}{ل} \right)^٢ = \left(\frac{ف}{ل} \right)^٢ \frac{(هـ_١ - هـ_٢) \text{ ل}}{٢}$$

$$ب_١ ى_١ = \frac{ف^٢ (هـ_١ - هـ_٢)}{٢ \text{ ل}} \qquad ..... (١)$$

وحيث أن ظا ١° = ٠,٠١٧٥

$$ب_١ ى_١ = ٢,٥ + ٠,٠١٧٥ \text{ ف} \qquad ..... (٢)$$



شكل (٢٢٣)

وبمساواة (١) ، (٢) ينتج أن :

$$ل = \frac{ف^{٢} \, (هـ_{١} - هـ_{٢})}{٥,٠ + ٠,٠٣٥ \, ف} \qquad \text{......} \; (١٧٧)$$

حيث ل ، ف بالأقدام (ونعوض عن $هـ_{١}$ ، $هـ_{٢}$ بالنسبة المئوية كما سبق) .

ثانياً ـــ ف أكبر من ل :

شكل (٢٢٤) :

$$د_{١} ب_{١} = (هـ_{١} - هـ_{٢}) \, (ف - \frac{١}{٢} ل)$$

$$= ٢,٥ + ٠,٠١٧٥ \, ف$$

شكل (٢٢٤)

$$\text{ل} = ٢\ \text{ف} - \frac{٥,٠ + ٠,٠٣٥\ \text{ف}}{\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢}} \qquad \text{.....}\ (١٧٨)$$

(٢) راحة الراكب :

وهى مهمة فى المنحنيات المقعرة عنها فى المنحنيات المحدبة لأن قوة الطرد المركزية وقوة الجاذبية يعملان فى اتجاه واحد فى الحالة الأولى بينما يعملان ضد بعض فى الحالة الثانية وحسب مواصفات مصلحة الطرق الأمريكية :

$$\text{ل} = \frac{\text{س}^{٢}\ (\text{هـ}_{١} - \text{هـ}_{٢})}{٤٦,٥} \qquad \text{.....}\ (١٧٩)$$

حيث ل ، هـ بالأقدام ، س = السرعة ميل /الساعة

مسافة الرؤية فى المنحنيات المقعرة المارة تحت المنشئات

(Sight Distance at Underpasses)

المطلوب إيجاد الحد الأدنى لطول منحنى رأسى يمر تحت منشأ ويحقق مسافة رؤية معينة . ونفرض نقطة تقاطع المماسين تحت حافة المنشأ التى تحدد الرؤية إلى الأمام ، وأن الرموز كما سبق .

م = الأرتفاع الرأسى الصافى من الحافة السفلى للمنشأ إلى سطح الطريق .

$ع_1$ = أرتفاع عين السائق فوق الطريق .

$ع_2$ = أرتفاع السائق أو العقبة .

الحالة الأولى : ف أكبر من ل :

فى شكل (٢٢٥) من تشابه المثلثات :

$$\frac{ف}{ل} = \frac{هـ + و}{٢ هـ} = \frac{١}{٢} + \frac{و}{٢ هـ}$$

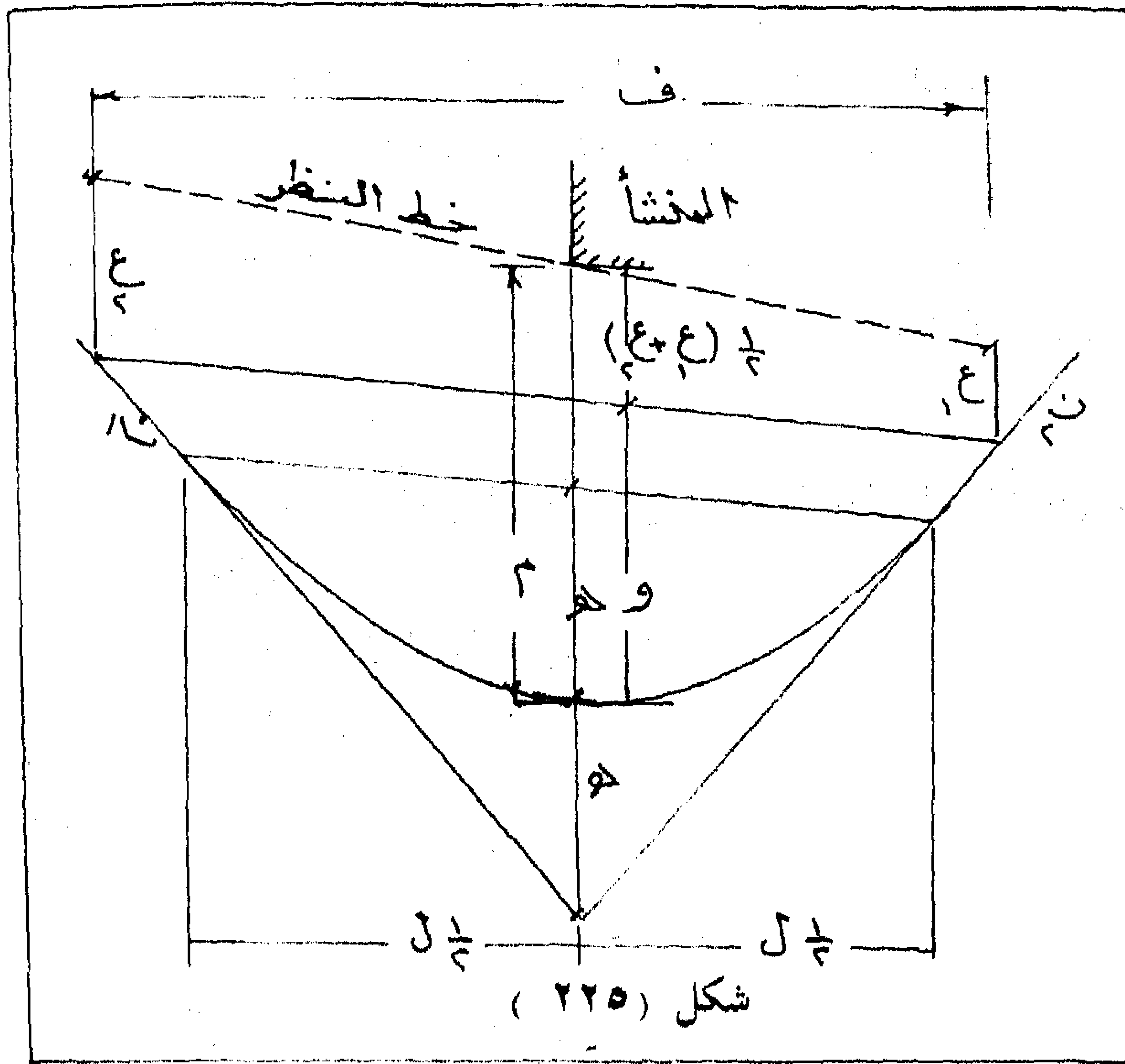
$$ف = \frac{١}{٢} ل + \frac{و ل}{٢ هـ}$$

ومنهـــا :

$$ف = \frac{١}{٢} ل + \frac{٤ و}{هـ_1 - هـ_2} \qquad ..... (١٨٠)$$

حيث $و = م - \frac{١}{٢} (ع_1 + ع_2)$

ولتطبيق هذا :



شكل (٢٢٥)

أولاً — فى مسافة الايقاف :

تؤخذ م = ١٤ قدماً (٤,٢٥ متراً) ،

$ع_1$ = ٦ قدما (١,٨٥ متراً) ،

$ع_2$ = ١,٥ قدما (أى ٠,٤٥ مترا) وذلك حسب مواصفات مصلحة الطرق الأمريكية .

وحسب مواصفات الناحية العملية للطرق م = ١٤,٥ قدماً .

$ع_1$ = ٤,٥ قدما ،

$ع_2$ = ٠,٥ قدما وبالتعويض بهذه القيم فى (و) ينتج :

مواصفات الطرق الأمريكية

$$ف = \frac{1}{2} ل + \frac{٤١}{هـ_1 - هـ_2} \quad .... (١٨١)$$

$$ف = \frac{١}{٢} ل + \frac{٤٨}{هـ_١ - هـ_٢} \quad .... (١٨٢)$$

حيث ف ، ل بالأقدام .

ويمكن إستنتاج المعادلة إذا كانت المسافات بالأمتار .

مثال : إذا كانت $هـ_١$ = − ٥٪ ، $هـ_٢$ = + ٣٪ ، ف = ٨٠٠ قدم . فما طول المنحنى الرأسى المطلوب .

الحـــل :

من المعادلة (١٨٢)) لدينا ل = ٢ ف ـ $\frac{٩٦ (١٠٠)}{(٥ + ٣)}$

= ٨٠٠ × ٢ ـ ١٢٠٠ = ٤٠٠ قدم

ثانياً ـ مسافة التجاوز :

م = ١٤,٥ قدم

$ع_١$ = $ع_٢$ = ٤,٥ قدم

$$ف = \frac{١}{٢} ل + \frac{٤٠}{هـ_١ - هـ_٢} \quad .... (١٨٣)$$

مثال ـ أوجد طول المنحنى الرأسى حسب البيانات السابقة فى مثال (١) ما عدا أن ف = ٦٠٠ قدم .

الحـــل :

ل = ٢ × ٦٠٠ ـ $\frac{٨٠٠٠}{٨}$ = ٢٠٠ قدم

الحالة الثانية ــ ف أصغر من ل :

حيث أن أى قطع مكافىء مفلطح عبارة عن دائرة تقريباً ، فإننا نفرض أن
س = نصف القطر المتوسط للمنحنى الرأسى .

فى شكل (٢٢٦)

ى ، $ى_١$ هى الزوايا المركزية المحصورة بواسطة ل ، ف على الترتيب .
(نفرض أنها زوايا صغيرة وبالتقدير الدائرى) .

$$هـ \text{ للقطع المكافىء} = \frac{ل\,(هـ_١ - هـ_٢)}{٨} \quad \ldots\ldots\ (١)$$

$$هـ \text{ للدائرة المقابلة} = س \text{ ظا } ى \text{ ظا } \frac{ى}{٤} = \frac{س\, ى^٢}{٨} \text{ تقريباً} \quad \ldots\ldots\ (٢)$$

بمساواة (١) ، (٢) .

$$ى^٢ = \frac{ل\,(هـ_١ - هـ_٢)}{س} \quad \ldots\ldots\ (٣)$$

نفرض أن (و) للقطع المكافىء = (و) للدائرة .

$$و = س\,(١ - \text{جتا } \frac{١}{٢} ى_١)$$

$$= س \text{ جا } \frac{١}{٢} ى_١ \text{ ظا } \frac{ى_١}{٤} = \frac{س\, ى_١^٢}{٨} \quad \ldots\ldots\ (٤)$$

من (٣) ، (٤) :

$$\left(\frac{ى}{ى_١}\right)^٢ = \frac{ل\,(هـ_١ - هـ_٢)}{٨\, و} \quad \ldots\ldots\ (٥)$$

والآن ل = س ى $\qquad$ ف = س $ى_١$ تقريباً

$$\text{وبذا فإن } \frac{ى}{ى_١} = \frac{ل}{ف}$$

$$\left(\frac{ى}{ى_١}\right)^٢ = \frac{ل^٢}{ف^٢} \quad \ldots\ldots\ (٦)$$

شكل (٢٢٦)

وبمساواة (٥) ، (٦) :

$$ل = \frac{ف^2 (هـ_1 - هـ_2)}{8 و} \quad .... (184)$$

أولاً — فى مسافة الايقاف :

تبعاً لمواصفات مصلحة الطرق الأمريكية :

$$ل = \frac{ف^2 (هـ_1 - هـ_2)}{82} \quad .... (185)$$

تبعاً لمواصفات الناحية العملية للطرق .

$$ل = \frac{ف^2 (هـ_1 - هـ_2)}{96} \quad \text{.........} (186)$$

ثانياً ــ فى مسافة التجاوز :

حسب المواصفات .

$$ل = \frac{ف^2 (هـ_1 - هـ_2)}{80} \quad \text{.......} (187)$$

فى المواضع التى لا يكون فيها المنشأ فوق رأس المنحنى تماماً كما هو مفروض فى الحالات السابقة فإن المعادلتين الخاصتين بالمسافات السابق ذكرها تظل صحيحة إذا كان رأس المنحنى لا يبعد عن المنشأ بأكثر من ٢٠٠ قدم ، اما إذا زادت عن ذلك فإن المعادلتين (١٨١ ، ١٨٢) تكونان خطأ أما المعادلة (١٨٤) فيمكن أعتبار نتائجها كافية .

ثالثاً ــ مسافة الرؤية فى المنحنيات الأفقية :

عند تخطيط المنحنيات الأفقية علينا أن نأخذ فى الاعتبار وجود مسافة رؤية كافية لا تقل عن ٦٠٠ قدم ولا تعترضها عقبات ، وإن كانت تتغير تبعاً لنوع الطريق .

الحالة الأولى : مسافة الرؤية أقل من طول المنحنى :

فى شكل (٢٢٧) نفرض أن عين السائق تكون عند (و) على محور الطريق الداخلى (الخط الداخلى وليس على محور الطريق نفسه) .

الوتر ا و = ف = مسافة الرؤية .

فى المثلثين ا ب حـ ، ا م هـ .

$$\frac{ع}{ا ب} = \frac{\frac{1}{2} ا ب}{س}$$

وعادة ا ب صغير بالنسبة إلى س وبذا فيمكن اعتبار أن :

ا ب = $\frac{1}{2}$ القوس ا و = $\frac{1}{2}$ ف تقريباً .

وبالتعويض فى المعادلة السابقة : ع = $\frac{ف^2}{8 ع}$

ع = مسافة العقبة عن محور الخط الداخلى = $\frac{(مسافة\ الرؤية\ ف)^2}{8\ س}$

...... (١٨٨)

وبدقة أكبر : من المثلث ا م هـ .

جتا ى = $\frac{س - ع}{س}$

ومنها

ع = س (١ ــ جتا ى)

..... (١٨٩)

ى بالدرجات ، ع ، س بالأقدام ع = ٠,٠٠٠٠٢١٨ ف^2 ى
ى بالدرجات ، ع ، س بالأمتار ع = ٠,٠٠٠٠١١ ف^2 ى

...... (١٩٠)

مثال (١) ــ فى طريق زراعى ، يبعد محور الخط الداخلى عن عقبة مقدار ٣٠ قدماً ، ويراد وجود مسافة رؤية قدرها ٦٠٠ قدم على الأقل عند المرور فى منحنى أفقى . ما هو الحد الأدنى لنصف قطر المنحنى .

الحـــل :

$$س = \frac{(٦٠٠)^٢}{٨ \times ٣٠} = ١٥٠٠ \text{ قدم}$$

مثال (٢) ــ درجة المنحنى = ٤° ، ف = ١٠٠٠ قدم . المطلوب أقل مدى لبعد العقبة .

الحـــل :

$$ع = \frac{١٠٠٠ \times ١٠٠٠}{٨ \times ١٤٣٢} = ٨٧ \text{ قدماً} \qquad \text{لأن } س = \frac{٥٧٣٠}{٤}$$

$$= ١٤٣٢ \text{ قدم}$$

وإذا استعملنا المعادلة (١٨٩) :

ع = ١٤٣٢ (١ ــ جتا ٢٩°) = ٨٦ قدما

الزاوية ى = ٢٠° لأن ى تقابل ١٠٠ قدم ، $\frac{١}{٢}$ ف = ٥٠٠ قدم

$$ى = \frac{٥٠٠}{١٠٠} \times ٤°$$

الحالة الثانية : مسافة الرؤية أكبر من طول المنحنى :

تعتبر هنا المسافات على القوس الدائرى . طول مسافة الرؤية على الأتجاه الدائرى أكبر من طول المنحنى بمقدار (ط) من كل من طرفى المنحنى من نقطتى التماس . فى شكل (٢٢٨) .

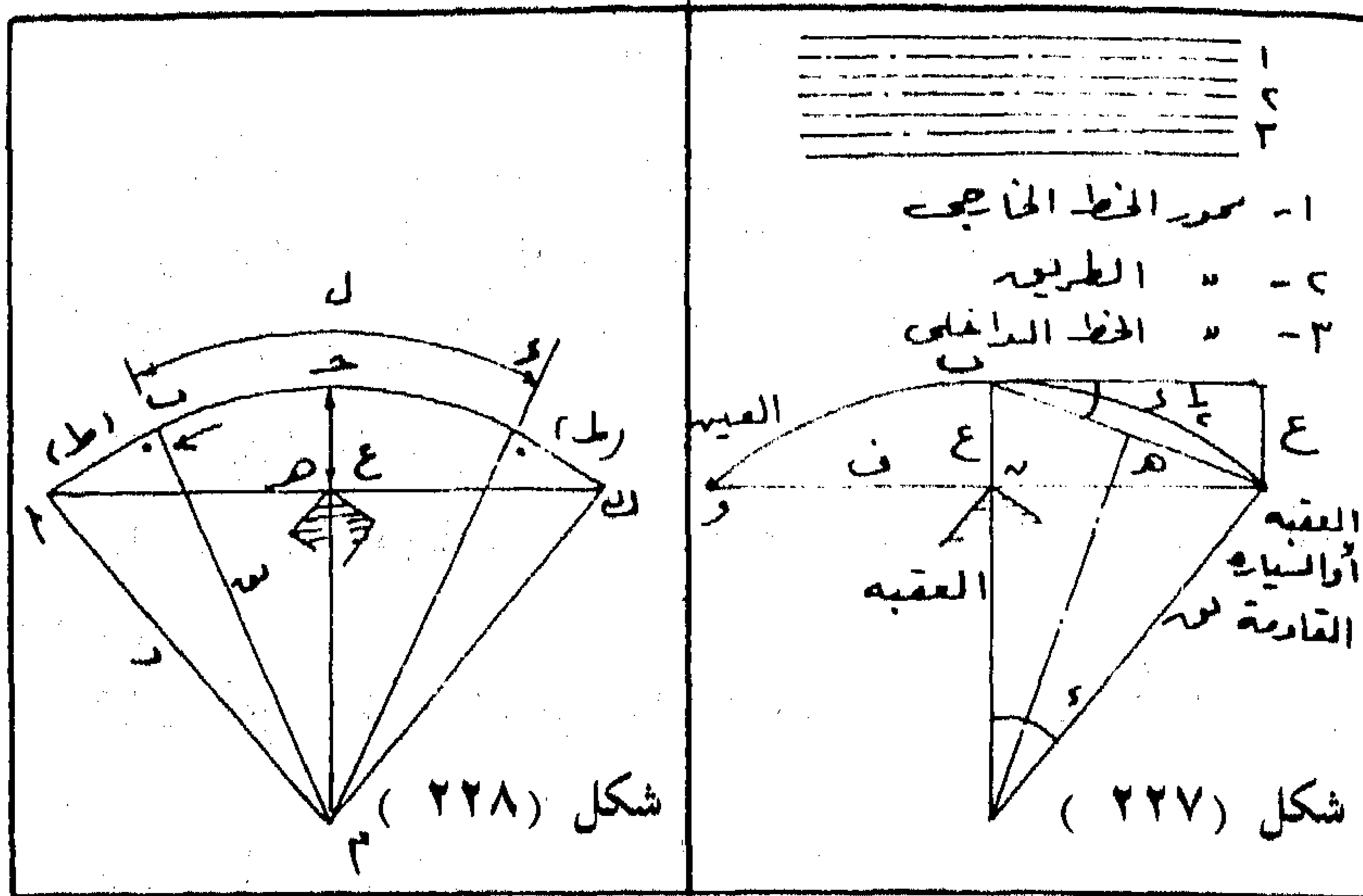
$$ف = ل + ٢ ط$$

$$ط = \frac{١}{٢} (ف ــ ل)$$

$$(ا حـ)^٢ = (ا هـ)^٢ + ع^٢$$

$$(ا هـ)^٢ = (ا م)^٢ ــ (س ــ ع)^٢ \quad ..... (٢)$$

$$(ا م)^٢ = (ا ب)^٢ + س^٢ \quad .... (٣)$$



ا ب = ط = $\frac{1}{2}$ (ف ـ ل) فى (٣) ثم التعويض فى المعادلة (٢)

(ا هـ)^{2} = $\frac{1}{4}$ (ف ـ ل)^{2} + س^{2} ـ (س ـ ع)^{2} ...... (٤)

وبتعويض (٤) فى (١) : (ا حـ)^{2} = $\frac{1}{4}$ (ف ـ ل)^{2} + ٢ س ع ..(٥)

بوضع ا حـ = $\frac{1}{2}$ ف فى (٥)

$$ع = \frac{ل (٢ ف ـ ل)}{٨ س}$$ .... (١٩١)

أو :

$$ف = \frac{٤ س ع}{ل} + \frac{1}{2} ل$$ .... (١٩٢)

مســـائـل

١ ـــ إذا كان لدينا منحنى يصل بين انحدارين الأول إلى أعلى قدره متران كل جنزير والثانى إلى أسفل قدره ٦ فى المائة وكانت مسافة التجاوز قدرها ٩٠ متراً وكان أرتفاع عين السائق ١,٦٥ مترا . فأوجد ما يلى :

أولاً ـــ طول المنحنى .

ثانياً ـــ مسافة الايقاف حتى لا يصطدم السائق بكتلة حجرية أرتفاعها ١٥ سم .

ثالثاً ـــ أعلى نقطة فى المنحنى إذا كان منسوب منتصف الأنحدار الثانى متر واحد .

رابعاً ـــ أحسب المناسيب على المنحنى كل ٢٠ متر .

٢ ـــ إذا كان لدينا منحنى يصل بين انحدارين الأول إلى أعلى قدره ١٨ فى الألف والثانى إلى أسفل قدره ٧ فى المائة وكانت مسافة التجاوز ١١٠ مترا وكان أرتفاع عين السائق ١,٤٠ مترا فأوجد ما يلى :

أولاً ـــ طول المنحنى .

ثانياً ـــ مسافة الايقاف حتى لايصطدم السائق بعقبة قدرها ١٢ سم .

ثالثاً ـــ ما منسوب أعلى نقطة فى الطريق إذا كان منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ٤ متر تحت سطح البحر .

رابعاً ـــ مناسيب النقط على المنحنى كل ١٠ متر .

٣ ـــ منحنى يصل بين انحدارين + ٤٪ ، – ٢,٤٪ وطول المنحنى ٣٦٠ متر وأرتفاع عين السائق ١,٧٠ متر فأوجد :

أولاً ـــ مسافة التجاوز .

ثانياً ـــ مسافة الايقاف حتى لا يصطدم السائق بعقبة أرتفاعها ١٥ سم على الطريق .

ثالثاً ـــ منسوب أعلى نقطة فى الطريق .

رابعاً ــ مناسيب النقط على المنحنى كل ٢٥ متر علماً بأن منسوب نقطة على المماس تبعد ٨٠ متراً من أوله قدرها ٦,٠٠ متر .

٤ ــ نفس مسألة ٣ ولكن طول المنحنى قدره ٢٠٠ متر مع نفس المطلوبات والبيانات .

٥ ــ منحنى يصل بين أنحدار قدره ١,٤٪ إلى أسفل ، ٣,٦٪ إلى أعلى فإذا كانت مسافة رؤية النور الكشاف الأمامى المطلوبة ٢٠٠ قدم فما طول المنحنى المطلوب .

٦ ــ منحنى يصل بين انحداره قدره ٦٪ إلى أسفل ، ٨,٦٪ إلى أعلى فإذا كانت مسافة رؤية النور للكشاف الأمامى ١٨٠ قدم فما طول المنحنى المطلوب .

٧ ــ إذا كان طول المنحنى ٢٨٠ قدم ويصل بين انحدارين ــ ٢,٠٪ ، + ٤,٥٪ فما مسافة الرؤية لنور الكشاف الأمامى . هل تتغير هذه المسافة . أولاً ــ إذا تغير الأنحدار الثانى إلى + ١٤٪ . ثانياً ــ إذا تغير الأنحدار الأول إلى − ٨,٠٠٪ . ثالثاً ــ إذا تغير الانحدار الأول إلى − ١,٥٪ والثانى إلى + ٢,٤٪ .

٨ ــ أستنبط معادلتين جديدتين لمعادلات مسافة الرؤية لنور الكشاف الأمامى وتطبق المسافات بالأمتار .

٩ ــ ما طول المنحنى المناسب لراحة الراكب ويصل بين انحدارين − ٤,٤٪ ، + ١١,٠٪ إذا كانت سرعة العربة التى بها الراكب ٧٨ ميل فى الساعة .

ثم أستنبط معادلة لتطبق للأطوال بالأمتار والسرعات بالكيلو متر فى الساعة .

١٠ ــ أستنتج المعادلة العامة لطولى مسافتى الرؤية والتجاوز للأيقاف فى المنحنيات المقعرة المارة تحت المنشعات ثم منها استنتج معادلات مواصفات الطرق الأمريكية ومواصفات الناحية العملية للطرق . أولاً ــ باستعمال

المواصفات بالأقدام . ثانياً ـــ باستعمال المواصفات بالأمتار وذلك فى الحالات التالية :

(١) طول ف أكبر من ل .

(٢) طول ف أصغر من ل .

١١ ـــ أوجد طول المنحنى المناسب تحت منشأ بانحدار − ٦٪ ، + ٩٪ .

أولاً ـــ إذا كانت مسافة الأيقاف ٤٠٠ قدم .

ثانياً ـــ إذا كانت مسافة التجاوز ٥٠٠ قدم . وذلك بإحدى طرق المواصفات .

ثالثاً ـــ طول المنحنى بالأمتار إذا كانت مسافة الأيقاف ١٠٠ متر .

رابعاً ـــ طول المنحنى بالأمتار إذا كانت مسافة التجاوز ١٤٠ متر .

١٢ ـــ فى طريق زراعى يبعد محور الخط الداخلى عن عقبة بمقدار ٤٠ قدم ويراد وجود مسافة رؤية قدرها ٥٠٠ قدم على الأقل عند المرور فى منحنى أفقى وما هو الحد الأدنى لنصف قطر المنحنى .

١٣ ـــ إذا كانت درجة المنحنى = ٦° ، ومسافة الرؤية فى منحنى أفقى = ٨٠٠ قدم المطلوب أقل مدى لبعد العقبة .

القسم الخامس
مساحة الأنفاق والمناجم
TUNNEL & MINE SURVEYING

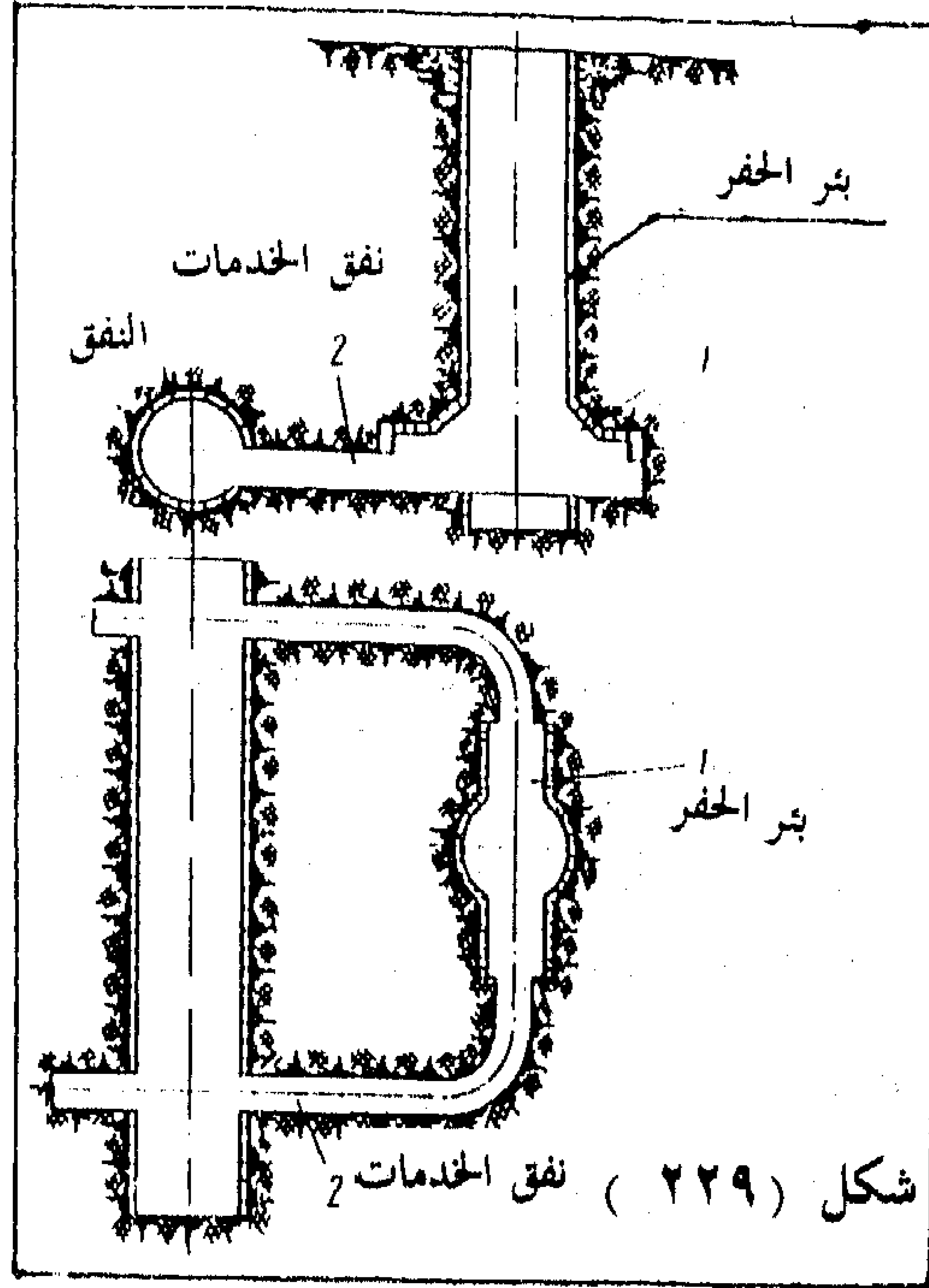
الباب الثانى والعشرون
مساحة الأنفاق والمناجم
(Tunnel & Mine Surveying)

مقدمـــــة :

ان انشاء الأنفاق داخل الأرض يتم إما بغرض استخدامها فى المواصلات ، أو كأجزاء من منجم للتعدين ، أو لمرور المياه فى المحطات الكهرومائية . وعند إنشاء الأنفاق يبدأ الإنشاء عادة من عدة قطاعات فى وقت واحد ثم يستمر العمل حتى يتم توصيل هذه القطاعات ببعضها طبقاً للتصميم المعد مسبقاً .

ويبدأ الإنشاء للأنفاق التى تتم بطريقة الحفر تحت أعماق كبيرة بعمل آبار رأسية بقطر يتراوح بين ٦ ـــ ٨ متر وعمق يصل إلى منسوب قاع النفق لإنزال المواد والآلات الخاصة بالإنشاء ويطلق على هذه الآبار آبار الحفر وتتباعد هذه الآبار عن بعضها بمسافة تتراوح بين ٢٥٠ إلى ١٣٠٠ متر تبعاً لطبيعة التربة وأبعاد النفق وظروف مكان الإنشاء .

ولتنسيق العمل ولعدم إزدحام ممر النفق بأدوات ومواد الإنشاء تنشأ هذه الآبار بعيدة عن محور النفق بمسافة تتراوح بين ٣٠ ـــ ٤٠ مترا تبعاً لظروف طبيعة السطح العلوى لمكان الإنشاء وقد تصل فى بعض الظروف إلى ٢٠٠ متر . ثم توصل هذه الأبيار بمحاور النفق بواسطة أنفاق ثانوية يطلق عليها أنفاق الخدمات . وشكل (٢٢٩) يبين قطاعاً رأسياً فى أحد هذه الآبار وفى أحد أنفاق الخدمات المؤدى إلى النفق الرأسى . وفى نفس الشكل موضح قطاع أفقى للنفق الرئيسى ولأنفاق الخدمات ولأحد آبار الحفر .



شكل (٢٢٩)

أنــواع الانفــاق

يمكن تقسيم الأنفاق تبعاً لما يلى :

١ ـــ مكان انشائها والغرض منها :

أولاً ـــ أنفاق فى الصخور :

سواء كانت للنقل مثل انفاق المواصلات بجبال الألب بأوروبا ، أو لتمرير المياه مثل أنفاق السد العالى .

ثانياً ـــ أنفاق تحت الممرات المائية :

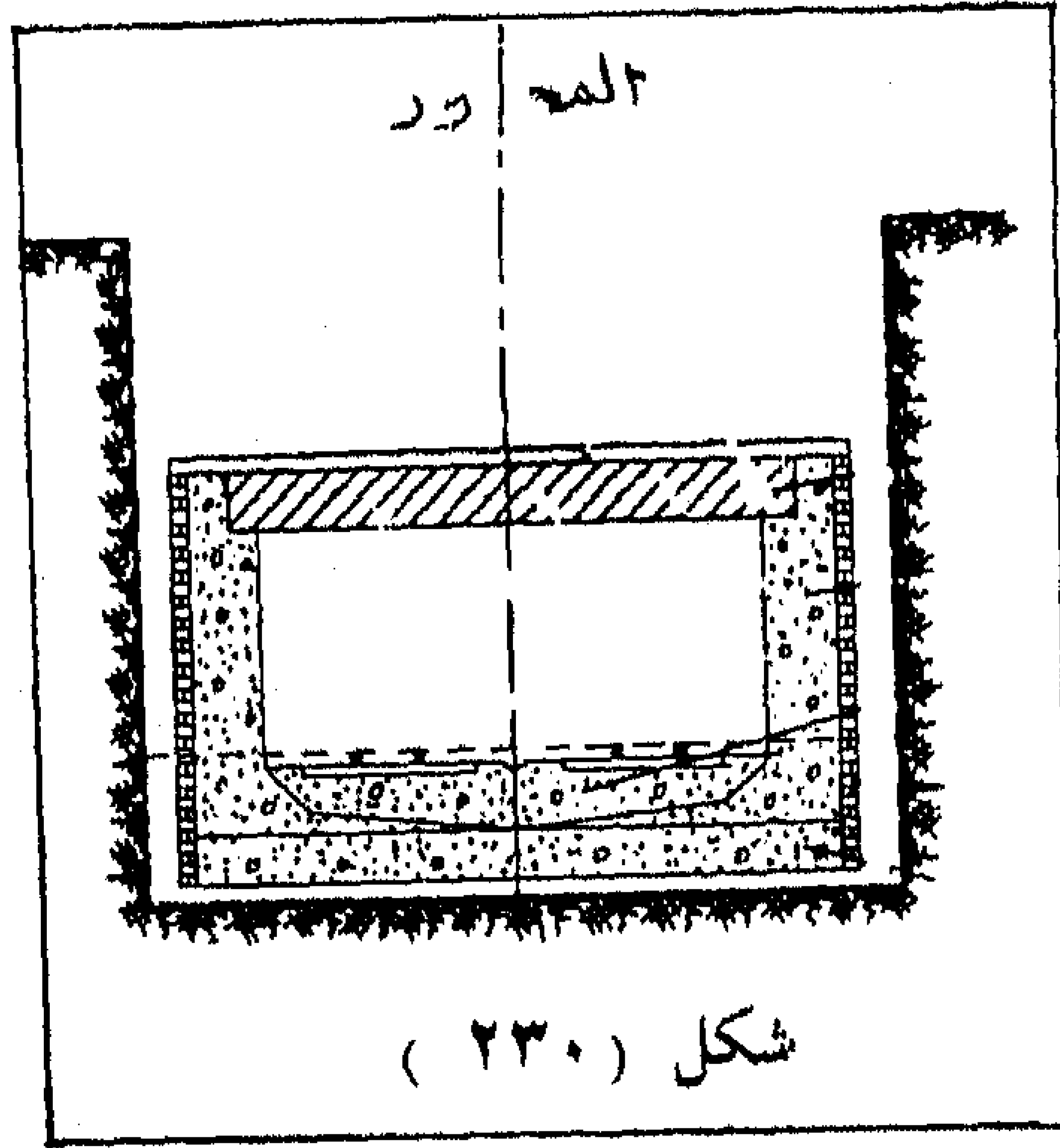
وهذه تنشأ تحت الترع أو الأنهار أو البحيرات أو البحار مثل النفق المزمع إنشاءه تحت بحر المانش بين كاليه بفرنسا ودوفر بانجلترا أو نفق الشهيد أحمد حمدى الذى تم إنشاؤه تحت قناة السويس ، والنفق الذى أنشىء باليابان ليصل بين أكبر جزيرتين بها .

ثالثاً ــ أنفاق المدن :

وهذه تنشأ تحت المناطق المأهولة بالمبانى والطرق مثل نفق مترو القاهرة بين السيدة زينب وميدان رمسيس .

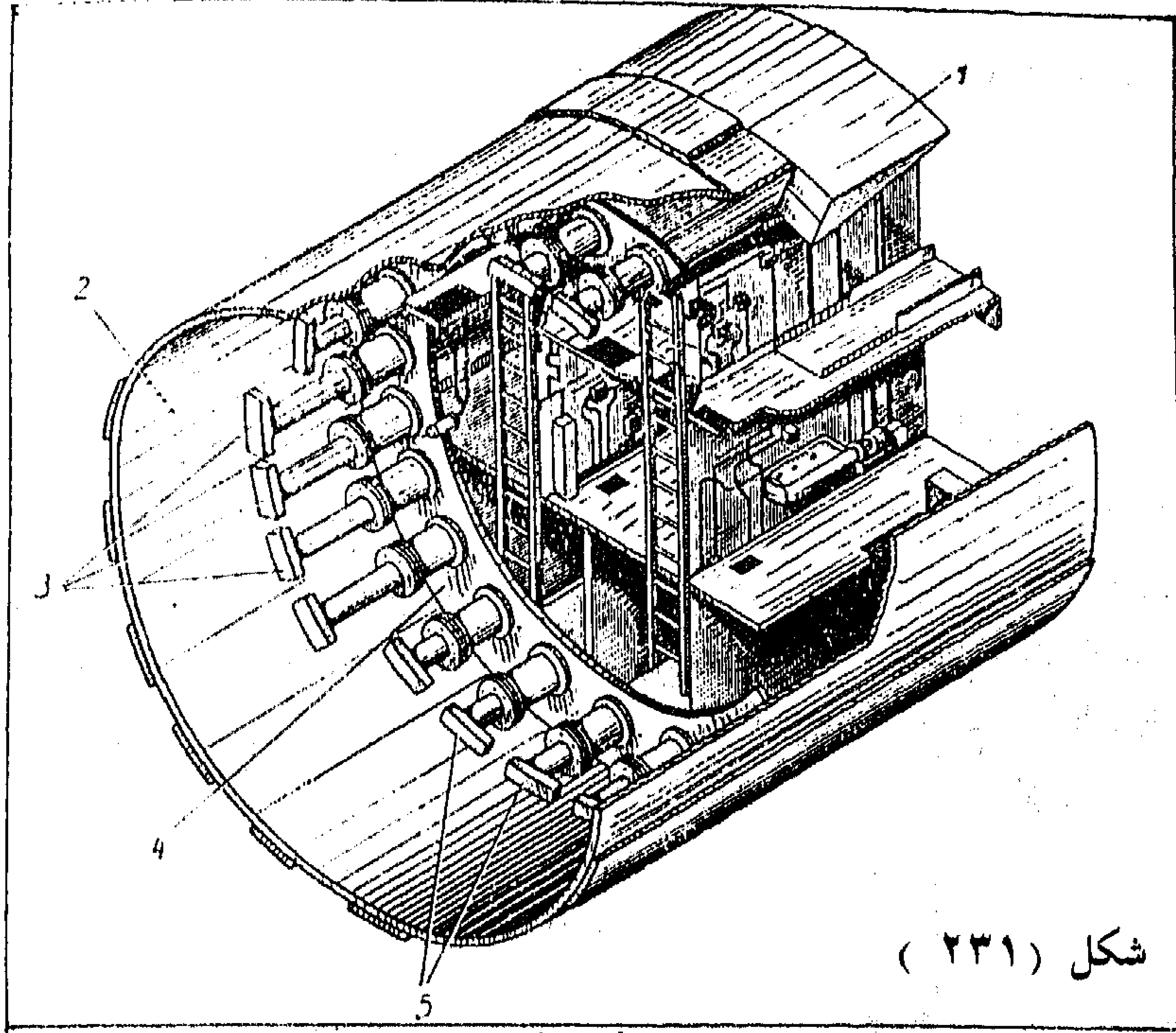
٢ ــ طريقة الانشاء :

النوع الأول ــ وهو الإنشاء بطريقة الحفر حتى المنسوب المطلوب ثم البناء ثم الردم (Cut & Fill) . وتستعمل هذه الطريقة عندما يكون مستوى الإنشاء قريب من منسوب الأرض الطبيعية ويخطط المحور بهذه الطريقة على الطبيعة بتثبيت وربط نقط مثلثات أو ترافرسات وعن طريقها يحدد المحور ، والإنشاء بهذه الطريقة يكون عادة تحت المساحات المفتوحة وتحت الشوارع الواسعة وشكل (٢٣٠) يبين مثال لقطاع الإنشاء لهذا النوع من الأنفاق . وهذا الأسلوب تم استخدامه فى انشاء بعض أجزاء نفق مترو القاهرة .



شكل (٢٣٠)

النوع الثانى ــ وهو الإنشاء تحت الأعماق الكبيرة وطريقة التنفيذ تختلف تبعاً لنوع التربة المار خلالها النفق وحالياً تستخدم آلات خاصة بالحفر تعطى قطاع النفق المطلوب ، ومثال لذلك الآلة المبينة فى شكل (٢٣١) للحفر فى الأراضى الصخرية وهى تتركب أساساً شكل (٢٣١) من حرف قاطع (١) دائرى الشكل مركب على إطار رئيسى (٤) مركب على هذا الأطار مكابس تخريم (شواكيش هيدرولوكية) (٣) وظيفتها عمل ثقوب على محيط دائرة

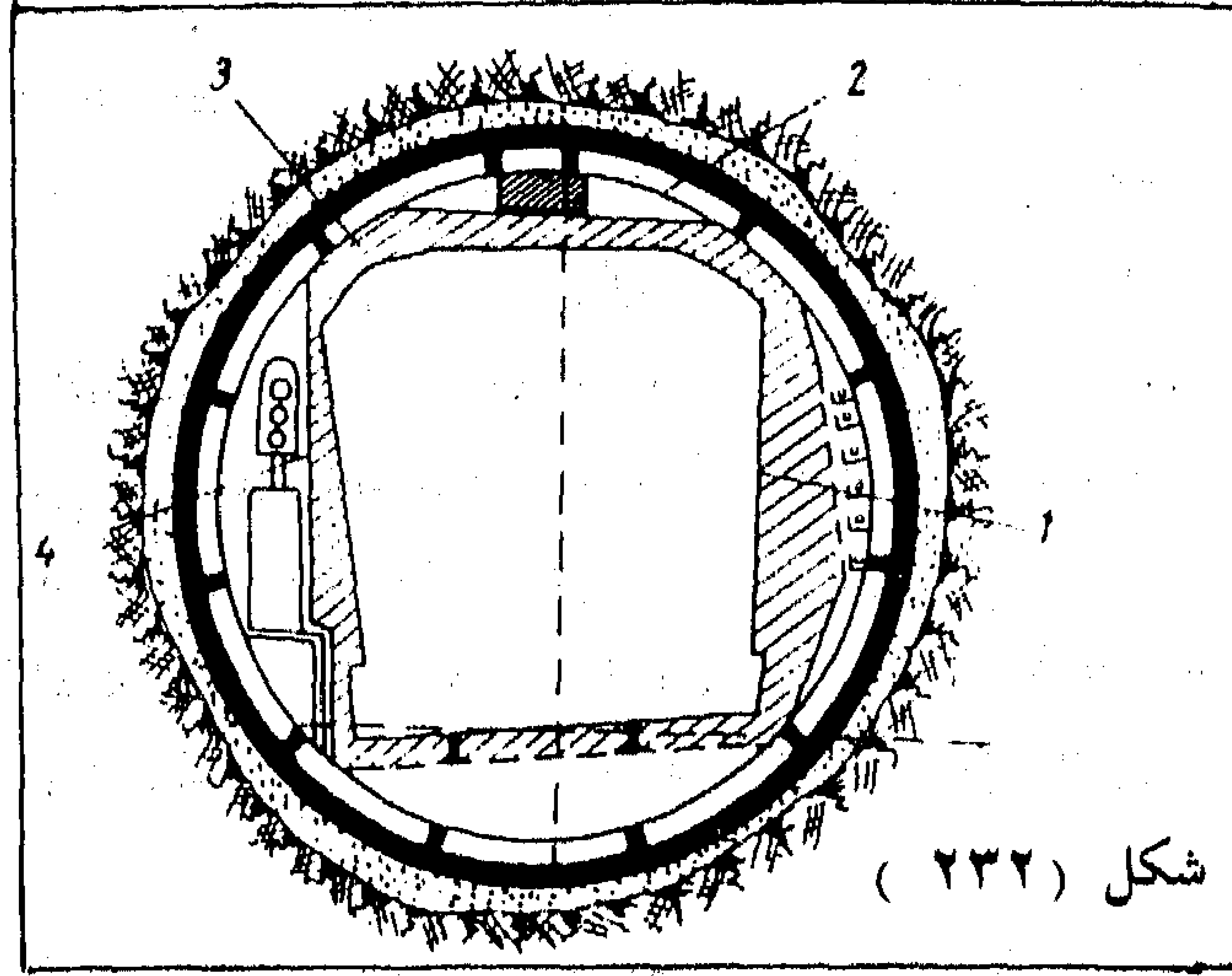


شكل (٢٣١)

قطاع النفق المطلوب تملأ بالديناميت بعد سحب الآلة ثم تجرى عملية تفجير لتكسير الصخور التى تزال بعد ذلك ثم ترجع الآلة بعد ذلك إلى موقعها ويكرر العمل . ويمكن إستخدام نفس الآلة فى حفر الطبقات غير الصخرية وذلك بعمل ثقوب على المحيط وفى نفس الوقت بالحفر المباشر داخل جسم الآلة الأسطوانى (٢) . وقد استخدم مثل هذا الأسلوب فى تنفيذ مشروع نفق الشهيد أحمد حمدى بالسويس .

والقطاع الناتج إما أن يبطن تبطيناً خرسانياً خفيفاً لمنع تساقط الأتربة أثناء الحركة داخل النفق وذلك إذا كانت طبيعة التربة صخرية ، أو يبطن تبطيناً خرسانياً مسلحاً لمنع الأنهيارات أو لمنع تآكل جدران النفق (فى حالة الأنفاق المائية) إذا كانت طبيعة التربة غير صخرية .

وعند إختيار قطر قطاع النفق تراعى الإنشاءات التى ستكون بداخله . وشكل (٢٣٢) يبين قطاعاً عرضياً فى نفق مترو فى أرض طينية حيث يبطن الجدار بالخرسانة وإطار حديدى داخله المنشآت الخاصة به .



شكل (٢٣٢)

المعلومات المساحية التى تعطى على الخرائط التنفيذية

المعلومات الخاصة بتحديد محور النفق ومساره عادة تكون مرتبطة بعدة إعتبارات خاصة بالتصميم وتوضيح هذه المعلومات على الخرائط المساحية التنفيذية وهى عادة تحتوى على :

أولاً ـــ المعلومات الخاصة بالضبط الأفقى :

١ ـــ إحداثيات نقطتى بداية محور النفق ونهايته والواقعتان فى مدخله ومخرجه .

٢ ـــ إحداثيات نقط تقاطع محاور النفق مع أنفاق الخدمات وآبار الحفر .

٣ ـــ إحداثيات نقط تقاطع محاور النفق المستقيمة مع المنحنيات .

٤ ـــ إنحرافات الأجزاء المستقيمة للمحور عن الشمال .

٥ ـــ البيانات الخاصة لتوقيع المنحنيات .

ثانياً ـــ المعلومات الخاصة بالضبط الرأسى :

تعطى هذه المعلومات عادة فى القطاع الرأسى للنفق وتبين عليه المناسيب والميول ، أما عند المنحنيات الرأسية ، وهى الموصلة بين المستويات المختلفة الميل فتعطى البيانات الخاصة واللازمة لتوقيع هذه المنحنيات .

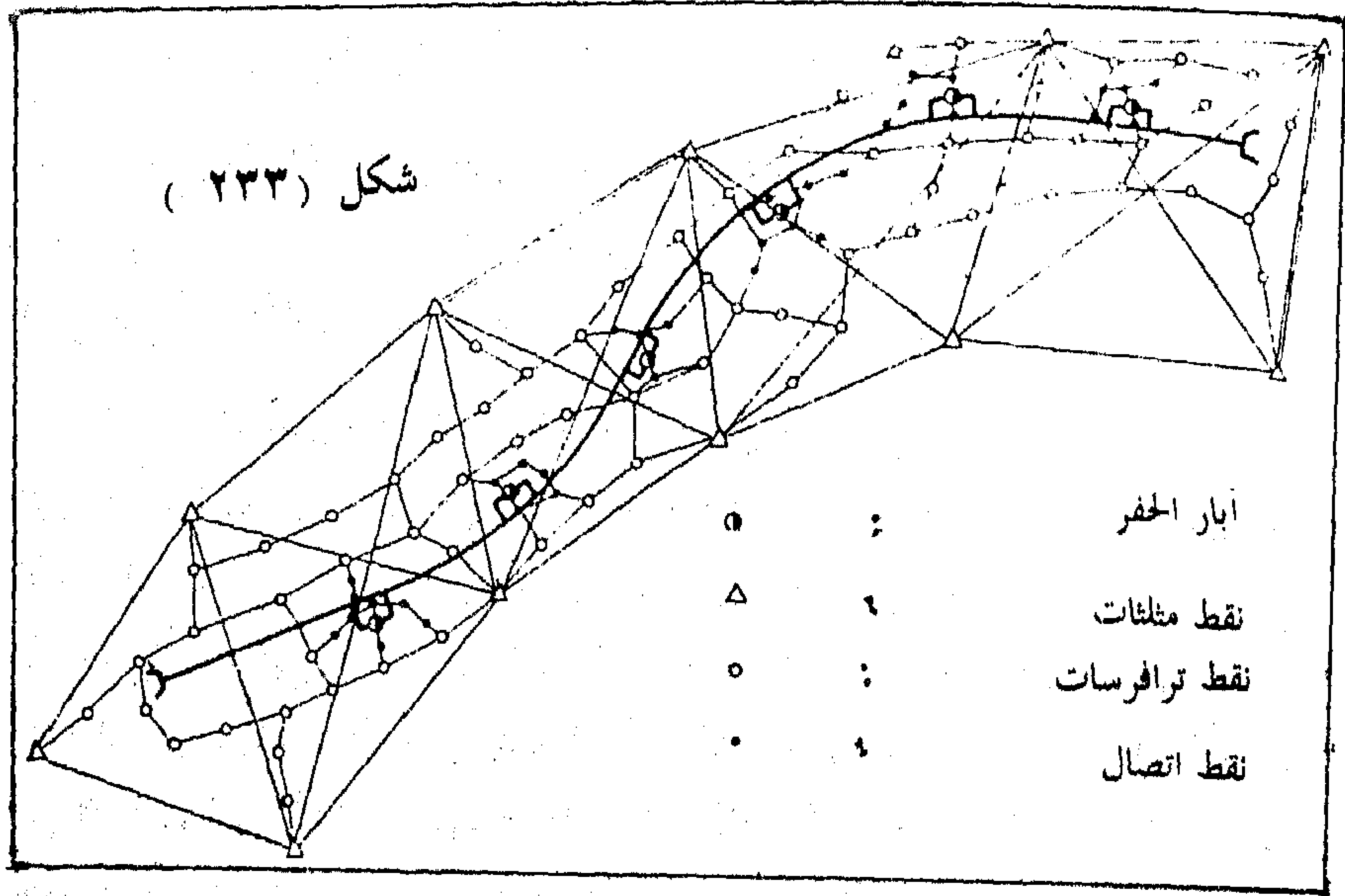
وتبين أيضاً على الرسم أطوال أجزاء المحور وتعطى على صورة محطات ، والبعد بين كل محطة وأخرى يحدد ويكتب على اللوحة — فمثلاً لو اتفق على أن تكون المسافة بين كل محطتين ١٠٠ متر مثلاً ، تسمى نقطة بداية النفق المحطة (٠,٠٠) ثم تسمى المحطة التالية والتى تبعد عن المحطة الأولى بمسافة ١٠٠ متر المحطة (١,٠٠) ثم بعد ١٠٠ متر أخرى تسمى المحطة (٢,٠٠) وهكذا حتى نهاية المحور فلو فرض أن نقطة هـ بداية إحدى المنحنيات تقع على بعد ٣٢٥,١٣ متراً من بداية النفق فالتعبير عن موقع هذه النقطة يكون بتسميتها النقطة (٢٥,١٣ + (٣,٠٠)) أى أن هذه النقطة تبعد عن المحطة (٣,٠٠) بمسافة ٢٥,١٣ مترا . وتحدد المحطات على المحور بوضع نقط ثابتة .

توقيع نقط شبكة مساحة الأنفاق على السطح العلوى

يتم تحديد محاور النفق ومحاور المنشآت المرافقة له بربطها بالنقط الأساسية على السطح العلوى (وهى عادة نقط مثلثات) بواسطة الآبار الرأسية ، وبسبب التباعد بين نقط المثلثات ولإكثار نقط الربط فتنشأ شبكات ترافرسات تصل بين نقط المثلثات ، أما إذا أمكن وضع نقط مثلثات فى نقط قريبة من الأبيار فيمكن بذلك توفير عمل الترافرسات ولو أنه لابد من عمل شبكة ترافرسات عند مدخل ومخرج النفق فى بعض الأماكن التى توجد بها منشآت خاصة مرتبطة بالنفق . والشكل رقم (٢٣٣) يبين مسقط لشبكة مساحية كاملة لإنشاء أحد أنفاق المترو وواضح بها أماكن أبار الحفر ونقط المثلثات وشبكات الترافرسات الموصلة ومحور النفق .

أما من الناحية التنفيذية فإذا وجد أنه يصعب إنشاء شبكة مثلثات فيمكن الإستعاضة عنها بإنشاء شبكة ترافرسات خاصة إذا كان ذلك يظهر وفراً من الناحية الإقتصادية .

وتحدد إحداثيات نقط الربط (النقط الموصلة من أعلى إلى داخل النفق خلال الأبيار الرأسية) بواسطة ربطها بترافرسات ثانوية مقفلة أو مفتوحة حتى نقط الترافرسات ونقط المثلثات .



وبعد تحديد إحداثيات نقط الربط العلوى بالسفلى تكون قد تحددت إحداثيات نقط بداية الترافرس الذى يجب إنشاؤه داخل النفق لتحديد محور الانشاء له ولكل ما هو مطلوب من انشاءات داخله .

أما لتحديد إنحرافات أضلاع ترافرس النفق نفسه فلا يعتمد إستنتاجها على إنحرافات أضلاع الترافرس الثانوية الواصلة من نقط المثلثات أو من نقط الترافرسات الأساسية الموجودة على السطح العلوى بل يجب أن تستنتج مباشرة من نقط المثلثات وإذا لم يتمكن من ذلك فتستنتج على الأقل من إنحرافات أضلاع الترافرس الأساسى .

وعملية ربط النقط الموجودة على السطح العلوى مع نقط ترافرس النفق تسمى عملية الربط العلوى بالسفلى ، وتتم هذه العملية بإسقاط نقطتين معلوم إحداثياتها من أعلى إلى أسفل يربط بهما الترافرس السفلى الذى تكون أضلاعه ما بين ٥٠ ـــ ١٠٠ متر . وسنشرح فيما بعد بالتفصيل هذه العملية .

أما بالنسبة للأنفاق الطويلة والتى تطول فيها المسافات بين الأبار وبعضها فترفع كفاءة النتائج والدقة بربط الترافرسات الأساسية بالترافرسات الفرعية أى تكون كترافرسات مقفلة وعادة تنشأ نقطة ترافرس أساسية بعد كل نقطتين أو ثلاث نقط فرعية .

الضبط الأفقى والرأسى لتقابل طرق محور النفق

من أهم المشاكل التى تقابل مهندس التنفيذ لمسار النفق خاصة عند الحفر من جهتين مختلفتين هى عدم تقابل طرفى محور النفق فى النقطة التى من المفروض أن يتقابلا فيها والمحددة والمحسوبة فى التصميم .

فبفرض أنه بدىء فى إنشاء نفق عن طريق مسارين مختلفين يبدأ أحدها من البئر الرأسية (A) والآخر من البئر الرأسية (B) . شكل (٢٣٤) والواقعتين على المحور التصميمى عند طرفيه ، وإستمر الإنشاء من كل من الطرفين فمن المفروض أن يتقابل المحوران فى النقطة المفروضة (O) . ولكن نظراً لوجود بعض الأخطاء فى القياس والتوقيع فينتج أن لا يتقابل المحوران . ففى المرحلة الأخيرة من الأنشاء قبل التقابل ونتيجة لهذه الأخطاء يكون مركز القطاع للنفق من جهة A هو (O_A) ومن جهة B هو (O_B) ويطلق على المتجه الواصل بين هاتين النقطتين بخطأ التقابل ومقداره (q) . هذا المتجه الفراغى يمكن تحليله إلى ثلاثة مقادير (شكل ٢٣٤) :

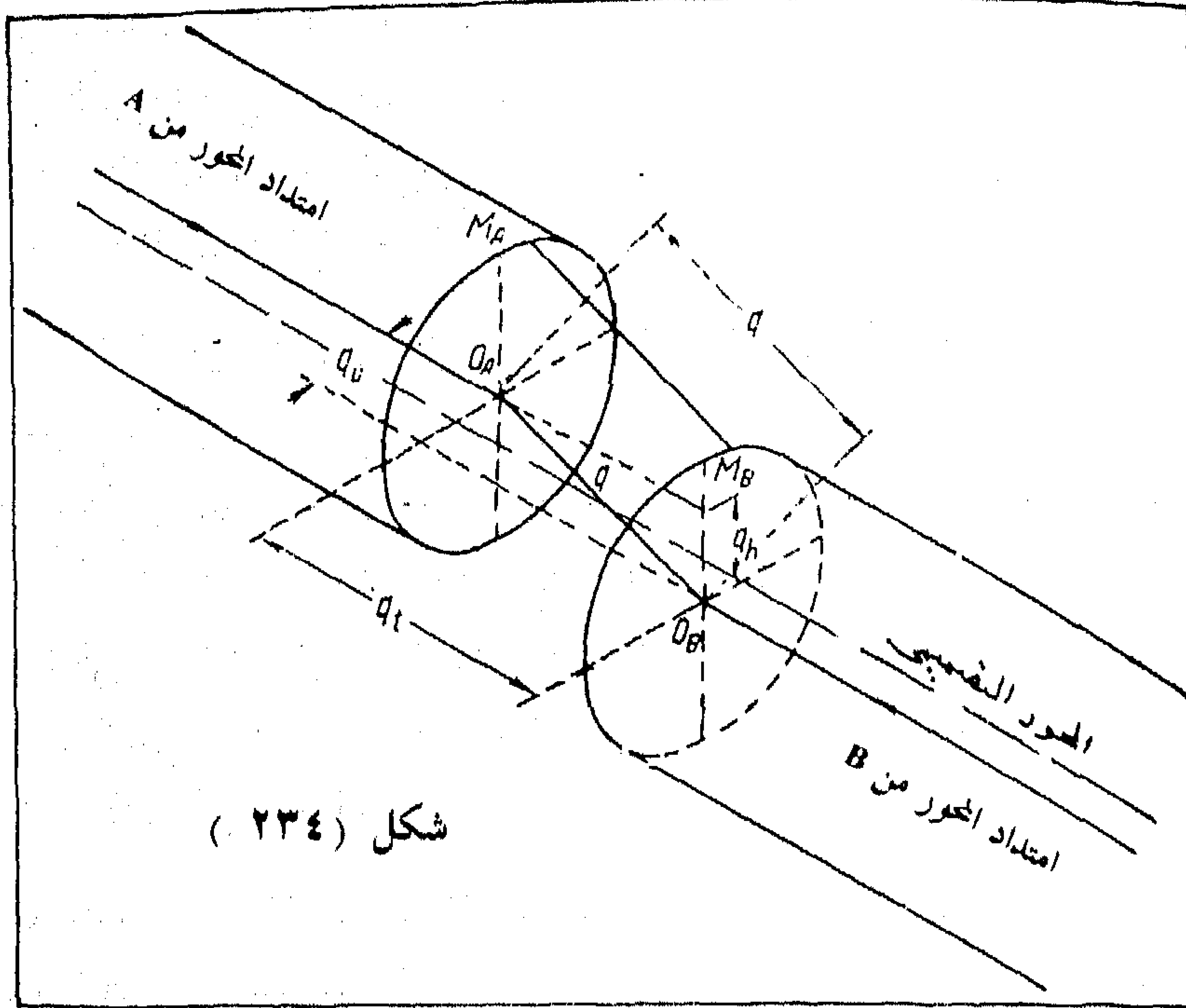
q_t = مركبة خطأ التقابل فى إتجاه المحور التصميمى .

q_h = المركبة الرأسية لخطأ التقابل .

q_u = المركبة الأفقية لخطأ التقابل .

والواقع أنه إذا التقى الحفر فإن خطأ التقابل (q) سيكون فى مستوى قطاع النفق وسيكون مقداره المسافة $O_A\ O_B$ فى هذا المستوى وتكون له مركبتان أفقية ورأسية .

ومسافة خطأ التقابل $O_A\ O_B$ هى التى تحدد مدى دقة العمل المساحى فى النفق ولذا فهى محددة فى المواصفات وقيمتها تختلف تبعاً للغرض المنشأ من أجله النفق وإذا زادت قيمة الخطأ عن المسموح به فى المواصفات فيعاد العمل المساحى ثانية . والجدول (٣٠) المرفق مبين به المركبات الأفقية والرأسية لأخطاء التقابل فى بعض الأنفاق العالمية .



شكل (٢٣٤)

جدول (٣٠) يبين أخطاء التقابل فى الأنفاق العالمية

النفـــق		خطأ التقابل (م)	
مكان إنشاء النفق	طول النفق بالكم	الأفقى (س)	الرأسى (ع)
Gotthard	١٤,٩	٢٥٠	١٠٠
Simplon	١٩,٧	٢٠٢	٨٧
Lotschberg	١٤,٥	٢٥٧	١٠٢
London Underground	٢,٥	٦٢,٥	—
Mont Blanc	١١,٦	١٣,٥	٣٠٠
Tauern	٥,٥٥	٥٥٠	٥٦
Hauenstein	٨,١٣	٥٠	١٠
Suramsk	٣,٩٩	١٣٠	٤٠
Wasserfluth	٣,٥٥	٥٠	١٠

وبناءاً على معرفة مهندس المساحة بقيمة الخطأ المسموح به قبل العمل ومعرفته لظروف العمل يحدد دقة الأعمال التى سيقوم بتنفيذها ومنها يحدد نوعية الأجهزة التى ستستعمل ويحدد الطرق التى سينفذ بها هذا العمل ويحدد مسافة خطأ التقابل (q) التى يتم فيها تصحيح مسار الحفر من الجهتين والتى تكون فيها المركبتين الرأسية والأفقية مسموحاً بها .

العوامل المؤثرة على مقدار خطأ التقابل فى الانفاق

تقسم الأعمال المساحية التى تستعمل عند إنشاء نفق إلى ثلاثة أقسام : القسم الأول يحتوى الأعمال التى تنفذ على سطح الأرض قبل بداية الإنشاء مثل شبكة المثلثات أو الترافرسات ثم الأعمال التى تنفذ فى بداية الإنشاء وهى عملية الربط خلال الأبيار ، ثم أخيراً الأعمال التى تنفذ لإنشاء النفق نفسه ، وتوجيه العمل داخل النفق وهى عادة شبكة ترافرسات رئيسية وكذلك تعمل ميزانية وذلك للربط الرأسى .

وعند إنشاء شبكة مساحية لإنشاء نفق فتتكون من الشبكات الخاصة ذات الدقة العالية فى جميع مراحل إنشائها فتكرر القياسات عدة مرات وتؤخذ المتوسطات فعند قياس الزوايا فى شبكة المثلثات تقاس الزوايا مرتان على الأقل وفى ظرفين مختلفين وكذلك لقياس الزوايا والأضلاع فى الترافرسات فتقاس كل مرتين على الأقل فى ظرفين مختلفين أما بالنسبة للقياس داخل الأنفاق فتقاس الزوايا عدة مرات والأضلاع كذلك وعند تكرار القياس وأخذ المتوسط فيؤخذ فقط متوسط الزوايا التى تحتوى الفرق المسموح به طبقاً لنظرية الأخطاء . والعوامل المؤثرة على قيمة خطأ التقابل الناتج من عدم تقابل محورى النفق عند إنشاءه يمكن تحديدها فيما يلى :

١ ــ الخطأ فى شبكة المثلثات .

٢ ــ الخطأ فى الترافرس الموصل من نقط المثلثات حتى نقطة التحديد فوق سطح الأرض .

٣ ــ الخطأ فى ربط نقطة التحديد من أعلى سطح الأرض حتى النفق .

٤ ــ الخطأ فى الترافرس الموصل من نقطة التحديد حتى الترافرس الأساسى بداخل النفق .

٥ ــ الخطأ فى تحديد نقط محور النفق من الترافرس الأساسى بداخل النفق .

ومما يجدر ملاحظته أن قيمة الأخطاء المحتملة السابقة ليست متساوية القيمة فقيمة الخطأ فى الترافرسات الموصلة إلى و من نقط الربط الرأسى أقل من قيم الأخطاء الأخرى خاصة أن قيمهم لا تعتمد على طول أو قصر النفق . وعموماً من الناحية العملية وفى الحسابات التقريبية لا يؤخذ هذان الخطآن فى الاعتبار .

بأخذ الأعتبارات السابقة فى حساب قيمة الخطأ التربيعى المتوسط (راجع نظرية الأخطاء) لخطأ التقابل نجد أن الأخطاء تؤول إلى :

$ف_{١}$ ــ الخطأ التربيعى المتوسط للشبكة الموجودة فوق سطح الأرض .

$ف_{٢}$ ــ الخطأ التربيعى المتوسط لضبط الربط عند (A) من أعلى سطح الأرض حتى النفق .

$ف_{٣}$ ــ الخطأ التربيعى المتوسط لضبط الربط عند (B) من أعلى سطح الأرض حتى النفق .

$ف_{٤}$ ــ الخطأ التربيعى المتوسط للترافرس الرئيسى داخل النفق من الناحية (A) وحتى التقابل .

$ف_{٥}$ ــ الخطأ التربيعى المتوسط للترافرس الرئيسى داخل النفق من الناحية (B) وحتى التقابل .

ومن هنا فيمكن التعبير عن قيمة الخطأ التربيعى المتوسط لخطأ التقابل ف بالمعادلة الآتية :

$$ف^{٢} = ف^{٢}_{١} + ف^{٢}_{٢} + ف^{٢}_{٣} + ف^{٢}_{٤} + ف^{٢}_{٥} \quad \text{.....} (١٩٣)$$

ومن الدراسات السابقة لنتائج قيم الأخطاء المحتملة لأنفاق نفذت قبلا ذات أطوال ١ ــ ١,٥ كم تبين أن قيم الأخطاء متساوية تقريباً . فتطبيق هذه النتيجة ومساواة قيم الأخطاء السابقة بالقيمة المشتركة $ف'$ أى بجعل :

$ف' = ف_1 = ف_2 = ف_3 = ف_4 = ف_5$ فتكون النتيجة أن $ف^2 = ٥ ف'^2$ أى أن :

$$ف = \sqrt{٥} \cdot ف' \qquad ...... (١٩٤)$$

بفرض أن خطأ التقابل المسموح به لنفق ما يساوى ٢ $\triangle$ وبفرض أن قيمة هذا الخطأ المسموح به تساوى ضعف الخطأ التربيعى المتوسط فبذا يكون :

$$ف = \triangle = \sqrt{٥}\ ف'$$

$$ف' = \frac{\triangle}{\sqrt{٥}} = ٠,٤٥\ \triangle$$

$$ف' = ٠,٤٥\ \triangle \qquad ...... (١٩٥)$$

مثال ١ ــ إذا كانت $\triangle$ المسموح بها = ٥٠ مم (أى أن الخطأ المسموح به فى المواصفات = ١٠٠ مم) فتكون قيمة $ف' = \frac{٥٠}{\sqrt{٥}} = ٢٢,٥$ مم .

وهذه تساوى قيمة الخطأ التربيعى المتوسط المسموح به للأعمال السابق ذكرها .

أما بالنسبة للأنفاق التى يزيد طولها عن ١,٥ كم فقيمة الأخطاء لا تكون متساوية كما فى الأنفاق القصيرة فمثلاً الدقة التى يحتاجها ربط النقط الموجودة أعلى سطح الأرض بمسار النفق أكبر من الدقة المطلوبة لتوقيع شبكة المثلثات ولذا فتؤخذ قيمة كل خطأ من الخمسة على حدة ويمكن حل هذه المسألة بحلول تقريبية بأن يضرب الخطأ التربيعى المتوسط فى معاملات مختلفة تبعاً لدقة العمل . وعلى سبيل المثال فى حالتنا هذه فلأيجاد قيمة ف من المعادلة (١٩٣) فنأخذ قيم $ف_1$ ، $ف_2$ ، $ف_3$ ، $ف_4$ ، $ف_5$ كالآتى :

$ف_1 = ٠,٧ \; ف'$ $ف_2 = ٢,٥ \; ف'$

$ف_3 = ٣,٥ \; ف'$ $ف_4 = ف'$

$ف_5 = ف'$

وبالتعويض فى المعادلة (١٩٣) لإيجاد قيمة ف :

$$ف = \sqrt{(٠,٧ \; ف')^2 + (٢,٥ \; ف')^2 + (٣,٥ \; ف')^2 + ف'^2 + ف'^2}$$

$$ف = \sqrt{١٥} \; . \; ف'$$

$ف' = ٠,٢٦ \quad ف = ٠,٢٦ \; \triangle$

$$ف' = ٠,٢٦ \; ف \qquad ......(١٩٦)$$

مثال ٢ — إذا كانت $\triangle$ المسموح بها = ٥٠ مم فتكون $ف' = ١٣$ مم .

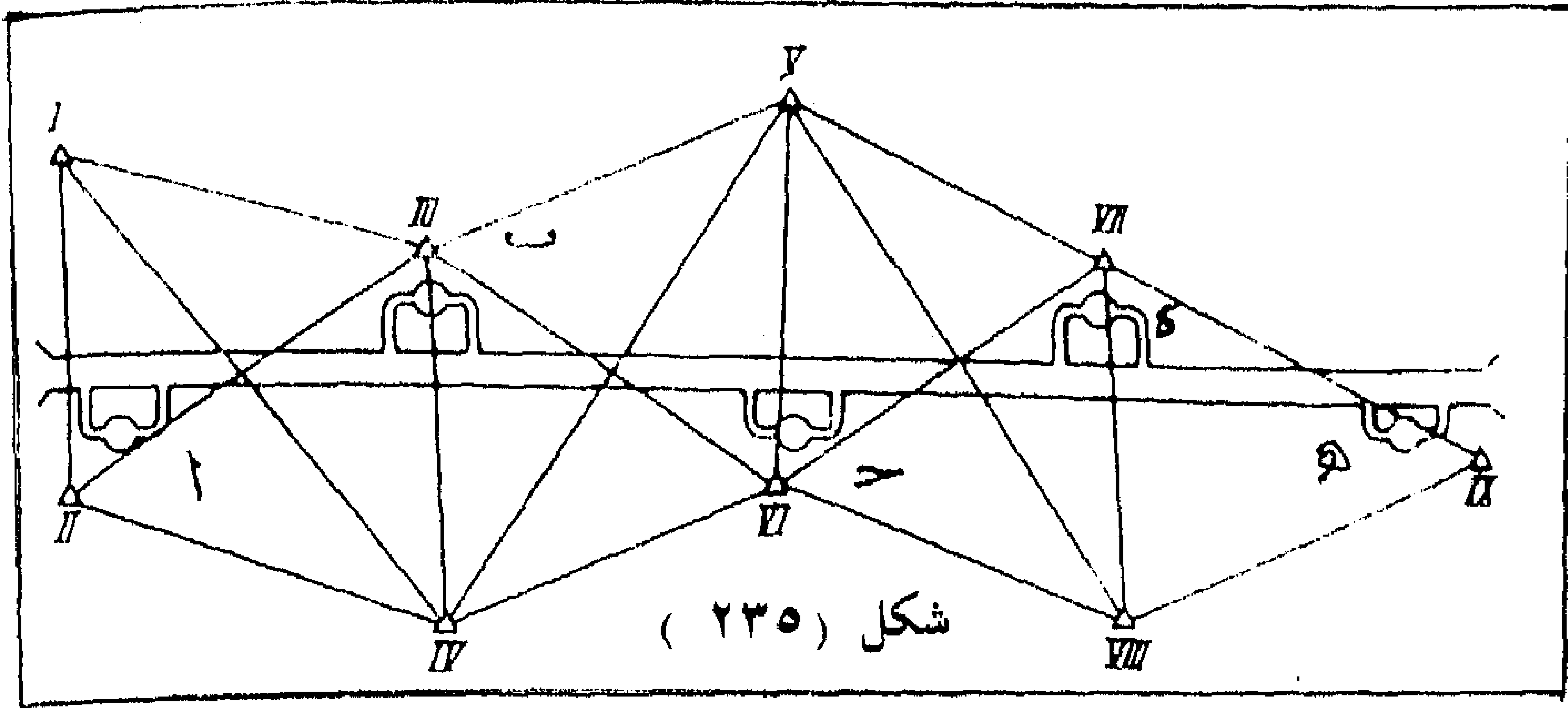
ويكون الخطأ التربيعى المتوسط المسموح به لشبكة المثلثات $ف_1 = ٠,٧ \; ف'$.

أى أن $ف_1 = ٠,٧ \times ١٣ = ٩$ مم . أما الخطأ التربيعى المتوسط لربط العلوى بالسفلى $= ف_3 = ٢,٥ = ٢٢$ مم . أما الخطأ التربيعى المتوسط لشبكة الترافرسات الرئيسية فى داخل النفق $ف_4 = ف_5 = ١٣$ مم .

فى حالة صعوبة تحقيق إحدى القيم السابقة عند التنفيذ فبالإمكان تغيير المعاملات .

حساب الدقة المطلوبة لشبكة مثلثات الأنفاق

بفرض أنه يراد إنشاء نفق بالإستعانة بإستخدام أبيار مساعدة ا ، ب ، حـ ، ء ، هـ والمحدد مكانها عن نقطة شبكة المثلثات المبينة بالشكل (٢٣٥) بدون الإستعانة بأى ترافرسات مساعدة . وعند ضبط الشبكة المتساوية الأضلاع فإن الخطأ الذى ينتج من الأخطاء الزاوية (أخطاء قياس الزوايا) يمكن تحديده عن طريق المعادلة الآتية :



شكل (٢٣٥)

$$\text{ف}_{\text{ر}} = \pm\ \text{ل}\ \frac{\text{ف}''}{\rho''}\sqrt{\frac{٢}{٣}} \qquad \ldots\ldots (١٩٧)$$

ل ــ طول ضلع الزاوية المحصورة .

ف ــ الخطأ التربيعى المتوسط لقياس الزاوية فى الشبكة .

وبالتعويض عن $\text{ف}_{\text{ر}}$ بما يساويها من المعادلة (١٩٥) نجد أن :

$$\text{ف}'' = \pm\ \frac{٠{,}٤٥\ \Delta\ .\ \rho''}{\text{ل}\sqrt{\frac{٢}{٣}}} \qquad \ldots\ldots (١٩٨)$$

مثال ١ ــ بفرض أن ل = ١,٥ كم ، △ = ٥٠ مم فتكون قيمة ف″ = ± ٣,٧″ .

وهكذا نجد أن الدقة تصل إلى ٣,٧″ لشبكة المثلثات التى طول الضلع فيها ١,٥ كم وهذه تدخل فى نطاق شبكة مثلثات الدرجة الثالثة وبهذا فنجد أنه ليس من الصعوبة بمكان أن نصل إلى هذه الدقة خاصة أنها تنفذ فوق سطح الأرض .

أما فى حالة صعوبة إستخدام شبكة مثلثات فتنشأ شبكة ترافرسات كالمبينة فى شكل (٢٣٦) وفى هذه الحالة يمكن حساب الخطأ التربيعى لقياس الزاوية .

$$ف_{ر} = \pm \frac{ف''}{\varrho} \sqrt{\frac{ن + ٣}{١٢}} \quad ......(١٩٩)$$

حيث :

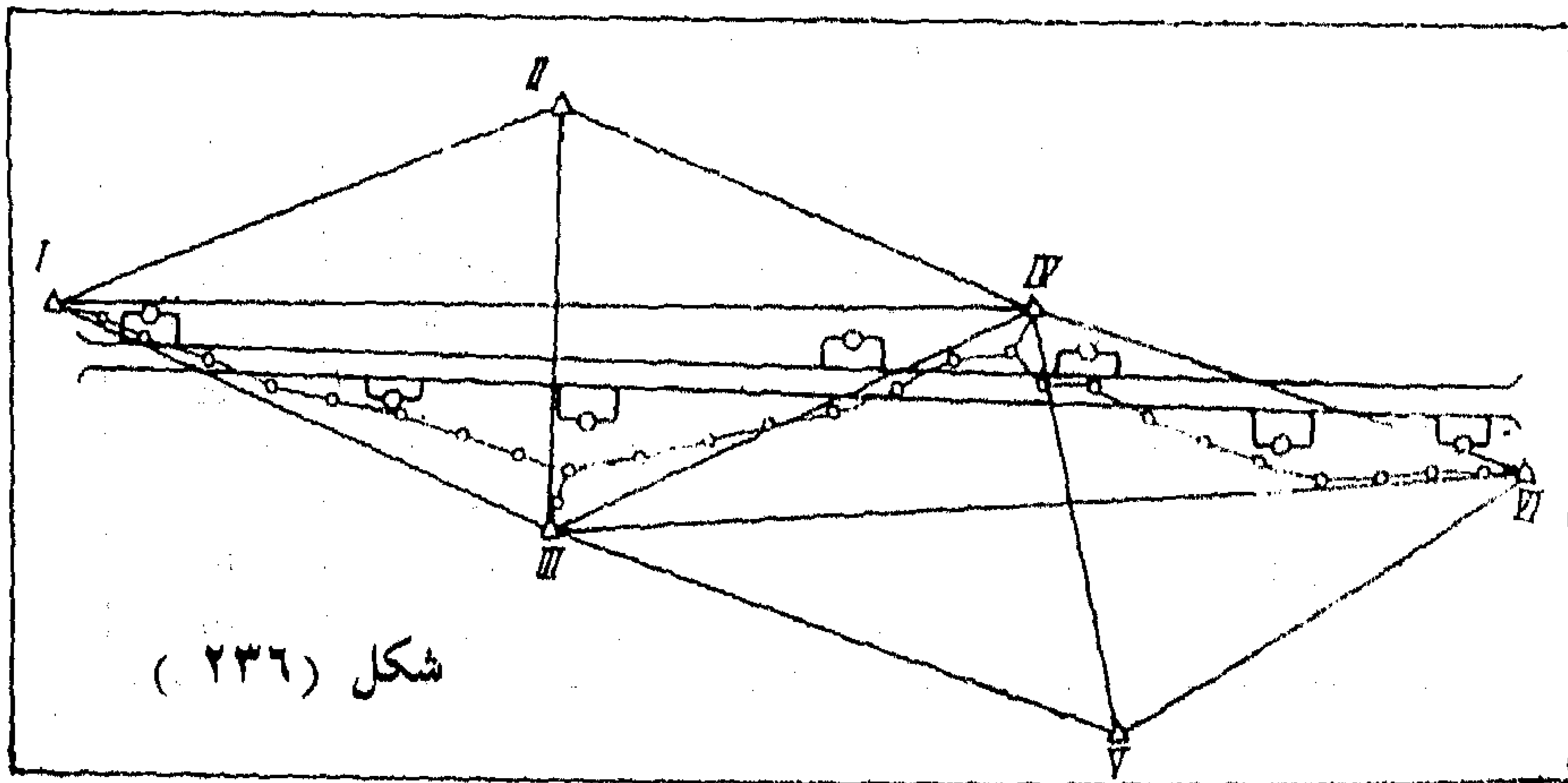
ل — مجموع أطوال أضلاع الترافرس .

ف″ — الخطأ التربيعى المتوسط لقياس الزاوية .

ن — عدد أضلاع الترافرس .

وبالتعويض فى المعادلة (١٩٩) عن قيمة ف ر بما يساويها من المعادلة (١٩٥) نجد أن :

$$ف'' = \frac{٠,٤٥ \cdot \triangle \cdot \varrho}{ل \sqrt{\frac{ن + ٣}{١٢}}} \quad ......(٢٠٠)$$



شكل (٢٣٦)

مثال ٢ ـ بفرض أن △ = ٥٠ مم ، ل = ١,٥ كم ، ة = ٦ وبالتعويض فى المعادلة السابقة نجد أن ف″ = ± ٣,٥″ .

بعد العرض السريع السابق لأسباب وجود خطأ التقابل فمن الممكن زيادة الدقة وتقليل الخطأ لو أخذت فى الاعتبار الملاحظات الآتية :

١ ـ يجب قياس إنحراف أحد خطوط شبكة المثلثات عن الشمال بأحدى الطرق الدقيقة وعدم الاكتفاء بحساب تسلسلها من الشبكات الأكبر درجة .

٢ ـ وضع نقط المثلثات بحيث تكون قريبة بقدر الامكان إلى نقط الربط العلوى بمسار النفق .

٣ ـ الاعتماد أساساً على شبكات المثلثات فى ربط النقط على سطح الأرض وجعل الربط بواسطة الترافرسات فى أقل الحدود .

٤ ـ إعادة تكرار القياس للعمليات المساحية الرئيسية (٢٠) فى فصول زمنية مختلفة .

وشبكة مثلثات الأنفاق يجب أن تكون من الدرجة الأولى أو الثانية تبعاً لطولها ولظروف الإنشاء ويمكن أن تكون من الدرجة الثالثة وفى كل هذه الحالات يجب ألا يقل طول مضلع الشبكة عن ٢ كم . وفى الجدول (٣١) مبينة مواصفات شبكات المثلثات ذات الدرجات المختلفة التى تستعمل لإنشاء شبكة مثلثات الأنفاق .

جدول (٣١)

درجة شبكات المثلثات	طول النفق بالكم	طول الضلع فى الشبكة بالكم	الخطأ التربيعى المتوسط لقياس الزاوية فى الشبكة	الخطأ النسبى لطول الضلع الشبكة بالنسبة لخط القاعدة	الخطأ المطلق فى طول الضلع
I	< ٥	٢ ـ ٨	± ١,٠″	١:٦٠٠,٠٠٠	١:٣٠٠,٠٠٠
II	١ ـ ٥	١ ـ ٤	± ١,٥″	١:٤٠٠,٠٠٠	١:٢٠٠,٠٠٠
III	> ٥	٠,٥ ـ ٢	± ٢,٥″	١:٢٠٠,٠٠٠	١:١٠٠,٠٠٠

ويجب ملاحظة أنه بجانب القيم الموجودة فى الجدول يجب ألا يزيد الخطا التربيعى المتوسط لقياس الزاوية عن القيم التى تسمح بها الدقة العامة لتقابل المحاور حيث تتطلب دقة قد تكون أكبر من الدقة المسموح بها فى الجدول .

وشبكة المثلثات تحدد بحيث تكون بقدر الإمكان من مثلثات متساوية وتوصل أطرافها لتكون أقطاراً وبذا تصبح الشبكة أكثر متانة . أما بالنسبة لخط القاعدة فتقاس قاعدة واحدة لو كان عدد المثلثات فى الشبكة من ٣ ــ ٥ مثلثات وإذا زاد عددهم عن ذلك فيجب أن يقاس خط قاعدة آخر للتحقيق .

وعموماً فوضع شبكة المثلثات يعتمد على شكل النفق نفسه ووضع الأبيار الرأسية الواصلة للنفق والاعتبارات الطبوغرافية للمنطقة .

الشكل (٢٣٧) يبين أحد الأمثلة لشبكة مثلثات استخدمت لتنفيذ نفق وهى مكونة من مجموعة من الأشكال الرباعية مرصودة القطرين بالأضافة إلى شكل رباعى ذو مركز ، وقد استخدم فى الشبكة خطا قاعدة أحدهما لإستنتاج أطوال أضلاعها والآخر للتحقيق .

الترافرسات المكملة لشبكات المثلثات فى مساحة الأنفاق

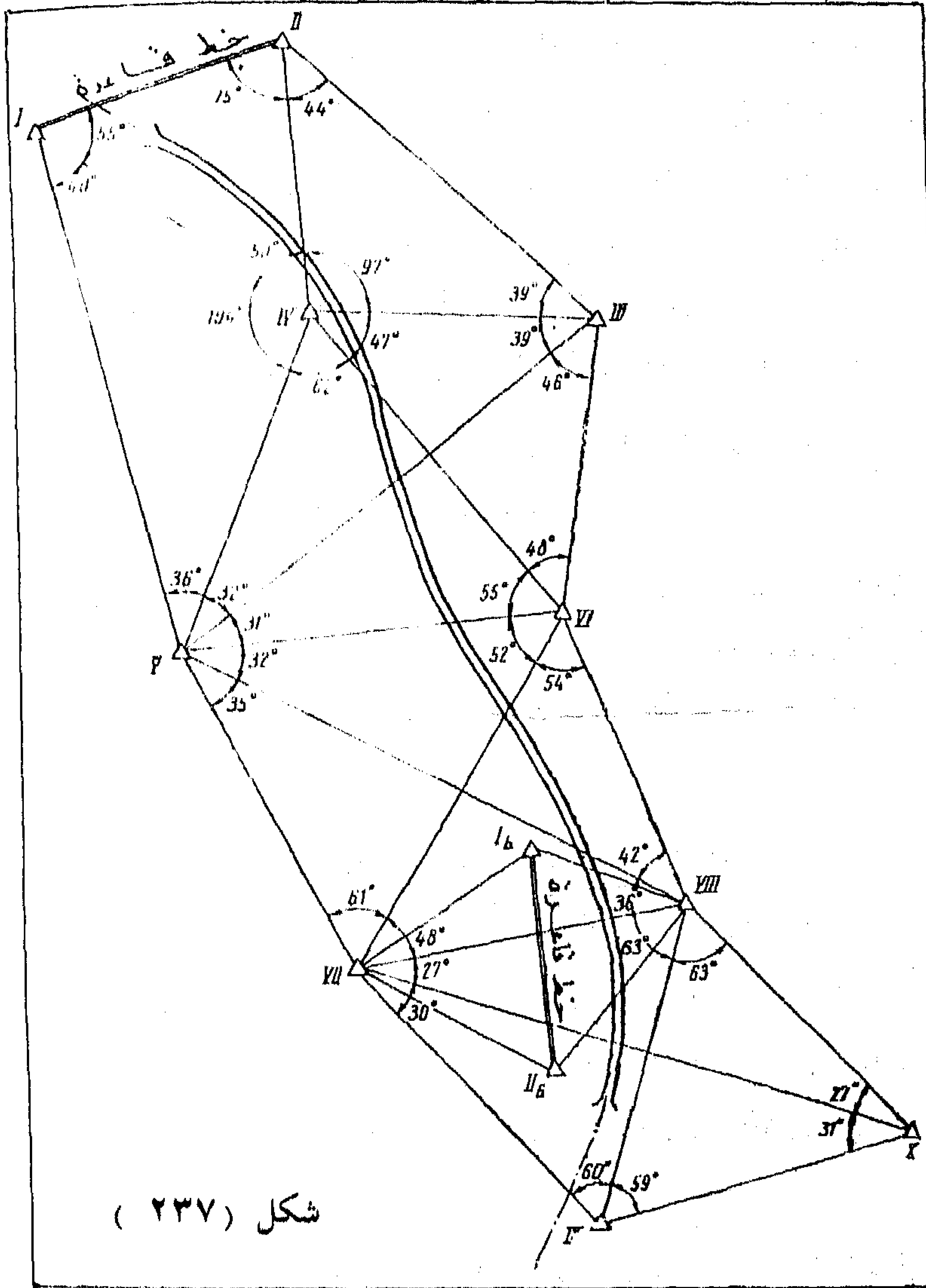
ويمكن تقسيم هذه الترافرسات إلى نوعين :

النوع الأول (الرئيسى) الذى يصل بين نقط المثلثات ويستمر بطول إتجاه مسار النفق وتقاس فيه الزوايا والأضلاع (طول الضلع عادة ما بين ١٧٥ ــ ١٥٠ م) .

والنوع الثانى وهو ما يسمى بالترافرس الموصل بين نقط الترافرسات الرئيسية ويغطى جانبى المنشأ .

الترافرس الرئيسى يمكن تلخيص مواصفاته فيما يلى :

تقاس زواياه بتيودوليتات دقيقة بحيث لا تزيد قيمة الخطأ التربيعى المتوسط لقياس الزاوية عن ± ٤″ . وتقاس الأضلاع بأسلاك من مادة الأنفار أو من الصلب أو بأستخدام طريقة قضيب الأنفار أو بأجهزة القياس الالكترونى



شكل (٢٣٧)

القصيرة المدى . وإذا كان الترافرس طويلاً فيجب التأكد من قيم انحراف الأضلاع بربطها بشبكة المثلثات بعد كل ٨ أضلاع على الأكثر .

أما بالنسبة للترافرس الموصل حيث تنقل منه الأحداثيات والانحرافات عن طريق نقط التوصيل الرأسى خلال الأبيار إلى داخل النفق ومنه إلى الترافرس الرئيسى بداخل النفق ومن هنا تظهر أهميته فتقاس زواياه بحيث لا يزيد خطؤها

التربيعى المتوسط عن ± ٦″ . والخطأ النسبى لقياس طول الضلع فى الترافرس لا يزيد عن ١ : ١٠٠٠٠ وطول ضلع الترافرس يكون من ٣٠ إلى ١٥٠ متر .

والحد الأقصى لطول الترافرس الموصل بين نقط الترافرس الأساسى هو ٤٠٠ متر وتقاس الزوايا والأضلاع بالطرق العادية أما الخطأ المسموح به فى الترافرس الموصل فنحصل عليه من المعادلة :

$$\text{ف}'' = 6''\sqrt{\text{ه}} \quad \ldots\ldots (٢٠١)$$

حيث ه = عدد الزوايا المقاسة فى الترافرس .

أما الأضلاع فتقاس بواسطة الشريط الصلب تحت شد ١٠ كج . ولا يزيد الفرق بين قراءتى المقياسين الأمامى والخلفى عن ٣ مم .

نقط الترافرس داخل النفق

توضع نقط الترافرس داخل النفق فى ظروف غير عادية حيث تنشأ فى ممر بعرض لا يزيد أحياناً عن ثلاثة أمتار وتقاس الزوايا بين الأضلاع تحت ظروف صعبة .

ونقط الترافرس يكثر عددها وتقل المسافة بينها فى الأجزاء المنحنية حيث توضع نقط كل ١٠ أمتار تقريباً على المنحنى الخارجى للنفق بينما تطول المسافة بين النقط فى الأجزاء المستقيمة كل حوالى ٥٠ ــ ١٠٠ متر وتتخللها نقط فرعية للترافرسات الفرعية اللازمة للأنشاء وتوضع كل حوالى ٢٥ ــ ٥٠ متر .

ويجب الأخذ فى الاعتبار عند إنشاء هذه النقط الملاحظات الآتية :

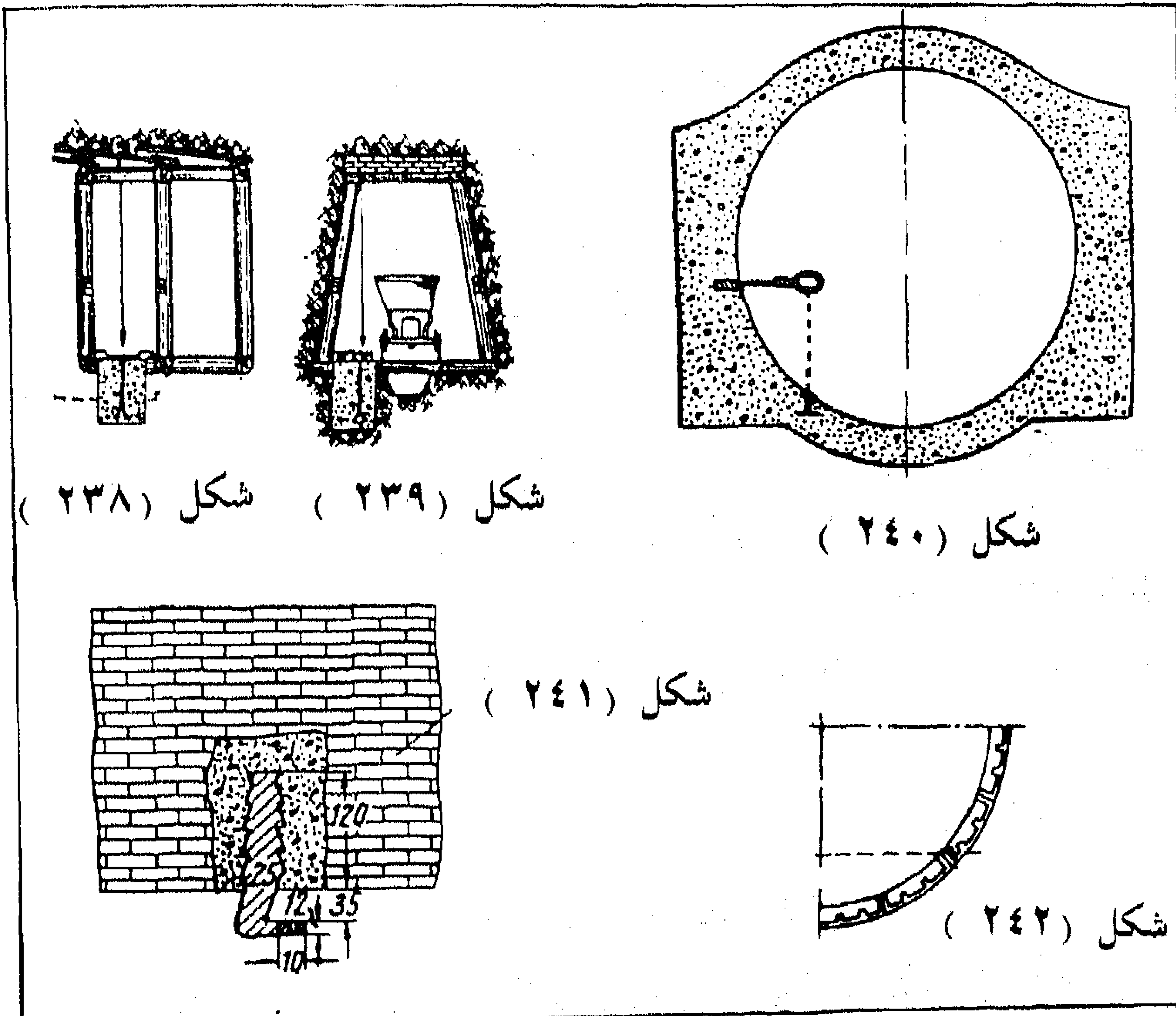
١ ــ تثبيت النقط فى مكان يمكن منه قياس الزاوية بوضوح .

٢ ــ يكون وضع النقطة فى مكان لا يتعارض مع تنفيذ الأعمال الأخرى .

٣ ــ تكون النقط بحيث يمكن أن تقوم فى نفس الوقت بعمل نقط ميزانية .

٤ ـــ أن تكون بسيطة وسهلة فى تثبيتها فى مكانها حتى الأنتهاء من الأنشاء وبعده .

وتكون العلامات عادة عبارة عن سيخ من الصلب أو جزء من ماسورة يثبت فى أرضية النفق كما فى القطاع رقم (٢٣٨)، (٢٣٩) أو جسم النفق نفسه وفى هذه الحالة يمكن تركيب قاعدة فى هذه النقطة ويوضع عليها التيودوليت أو العلامة كما فى الشكل (٢٣٨) وفى بعض الأحيان تثبت العلامة فى أعلى النفق ويسقط منها خيط شاغول يضبط على أساسها مكان النقطة ونثبت هذه عادة فى الأنفاق الخرسانية أو الصخرية وقطاعها المبين فى الشكل (٢٣٨) أما فى الأنفاق المبطنة بقطاعات من الصلب فتلحم فى جوانبها العلامة كما هو موضح فى القطاع رقم (٢٤٢) .



شكل (٢٣٨) شكل (٢٣٩) شكل (٢٤٠) شكل (٢٤١) شكل (٢٤٢)

الباب الثالث والعشرون
ربط شبكات المثلثات الأرضية
بالشبكة الداخلية فى الأنفاق

Orientation

تربط شبكة المثلثات الموجودة على سطح الأرض بمحور النفق وبذا يمكن إستنتاج إحداثيات نقط محور النفق وكذلك انحرافات أضلاعه من إحداثيات وانحرافات الشبكة الموجودة على سطح الأرض وتسمى هذه العملية عملية الربط الرأسى (Orientation) وتتم هذه العملية بدقة عالية جداً وتختلف طرق الربط حسب الإمكانيات المتاحة وحسب الدقة المطلوبة وتوجد طرق عدة لهذا الربط .

الطريقة الأولى : وهى طريقة الربط خلال بئر رأسى واحد .
الطريقة الثانية : وهى طريقة بئر مائل أو أفقى .
الطريقة الثالثة : وهى طريقة الربط خلال بئرين رأسيين .

وعند إستعمال الطريقتين الثانية والثالثة فتمد شبكة ترافرسات أمتداد للشبكة الموجودة على سطح الأرض وعموماً فالطريقة الأولى هى الأوسع إنتشاراً .

أما طرق التنفيذ فهى مختلفة وتعتمد على نوعية الأجهزة الممكن إستعمالها ويمكن تجميع الطرق التنفيذية فيما يلى :

١ ـــ باستعمال سلك الشاغول وتصل الدقة فى هذه الحالة إلى ± ٣٠′ عند إستعمال سلكين شاغول فى بئر واحد .

٢ ـــ باستعمال بعض الأجهزة الخاصة مثل الجيروسكوب .

٣ ـــ باستعمال الأجهزة الضوئية أو الألكترونية .

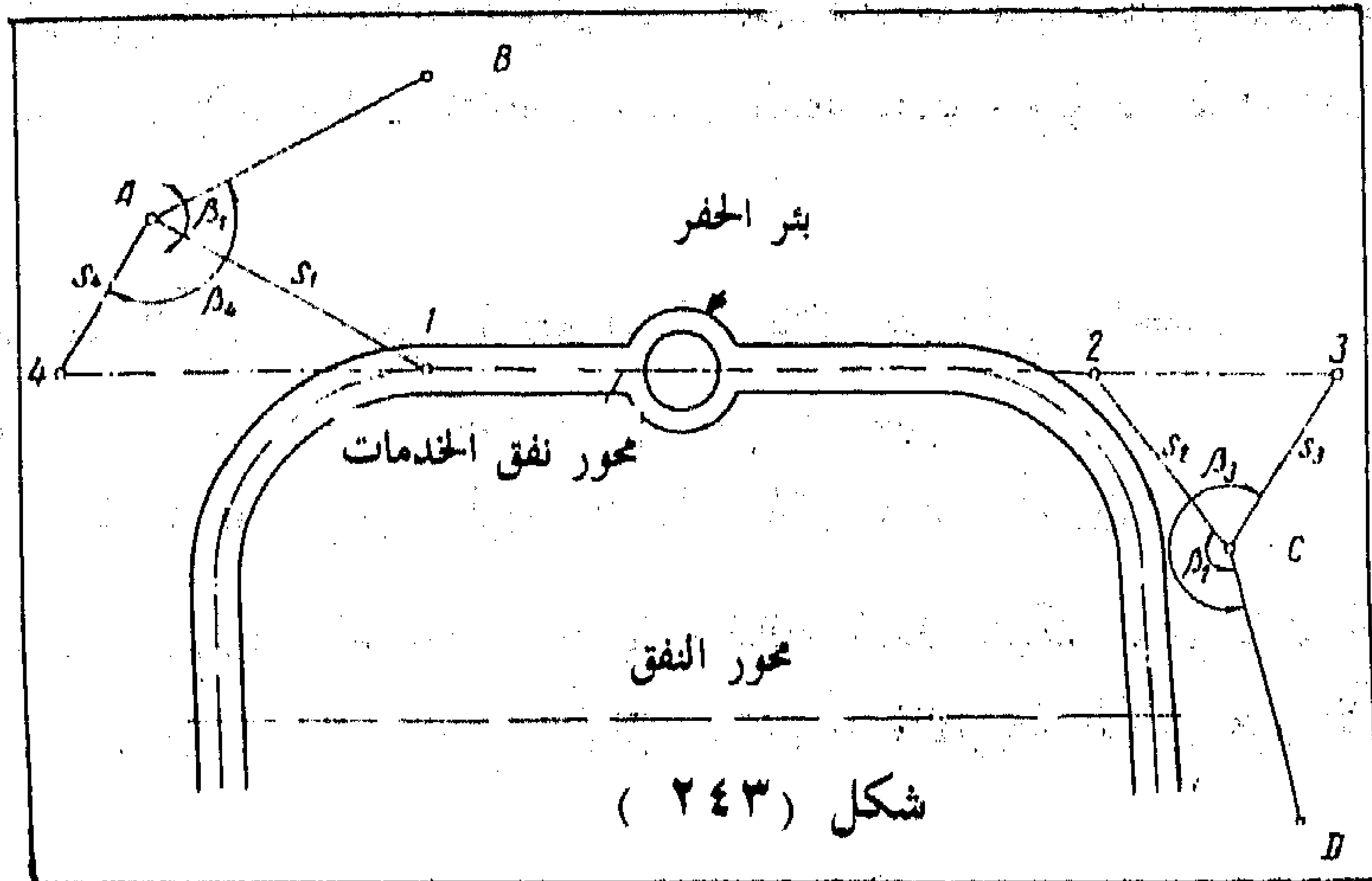
وفيما يلى سوف نتعرف بالتفصيل على طريقة الربط بواسطة الطريقة الأولى وهى باستعمال سلك الشاغول . وتوجد طريقتان للتنفيذ الطريقة الأولى

وتسمى الربط بطريقة تثبيت الاتجاه والطريقة الثانية وتسمى الربط بطريقة المثلثات المساعدة .

طريقة الربط خلال بئر رأسى

أولاً ـــ الربط بتثبيت الاتجاه :

طريقة تثبيت الاتجاه بواسطة سلكين شاغول على الاتجاه الواصل بين نقطتين محددتين على سطح الأرض ومعروف زاوية إنحراف الخط الواصل بينهما وذلك من شبكة المثلثات أو الترافرسات الأساسية أو بالأستعانة بترافرس موصل مساعد كما فى شكل (٢٤٣) .



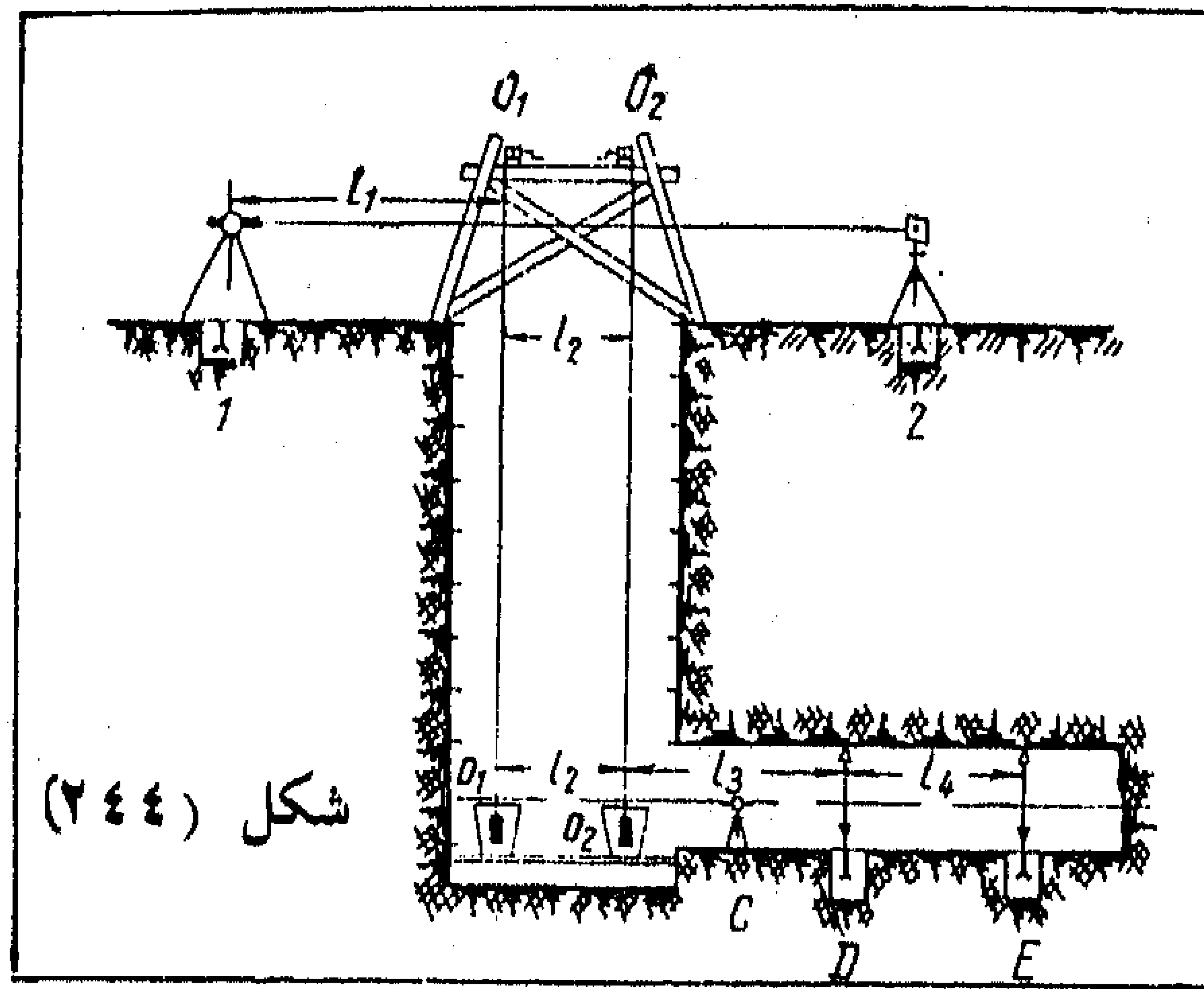
شكل (٢٤٣)

ويحدد وضع السلكين بواسطة تيودوليت يوضع على إحدى النقطتين ولتكن (١) ويوجه إلى علامة على النقطة الأخرى (٢) ويسقط أحد السلكين بحيث يكون متقاطعا مع الخط الواصل بين العلامتين والمحدد باتجاه التيودوليت وبنفس الطريقة يسقط السلك الآخر فى البئر كما هو مبين فى شكل (٢٤٤) والذى فيه وضع التيودوليت فوق نقطة (١) وعلامة الرصد فوق نقطة (٢) .

وفى أسفل البئر (مستوى قاع النفق) حيث ينتهى السلك بثقل يوضع فى إناء (O_1 ، O_2) به سائل ليثبت رأسية السلك ويجعل السلك يحفظ إتجاهه بأقل ذبذبة ممكنة .

بعد تثبيت الإتجاه أسفل البئر يحدد إمتداد الخط الواصل بين السلكين بواسطة تيودوليت عند نقطة C ويكون هذا الإتجاه هو نفس الاتجاه لما فوق البئر (على سطح الأرض) وتثبت نقط ترافرس داخل النفق مثل D ، E على إمتداد الإتجاه المعلوم . وتقاس المسافة بين السلكين ل٢ وبين السلكين ونقطة المثلثات الأولى ل١ فى أعلى البئر ومنها تحسب إحداثيات نقط السلك وكذلك المسافة بين السلك وبين نقط الترافرسات فى داخل النفق . ومنها تحسب إحداثيات نقط الترافرس داخل النفق .

التوقيع بهذه الطريقة يعطى خطأ تربيعى متوسط فى حدود ± ٣٠ ″ . وفى شكل (٢٤٤) مبين قطاع توضيحى لهذه العملية .



شكل (٢٤٤)

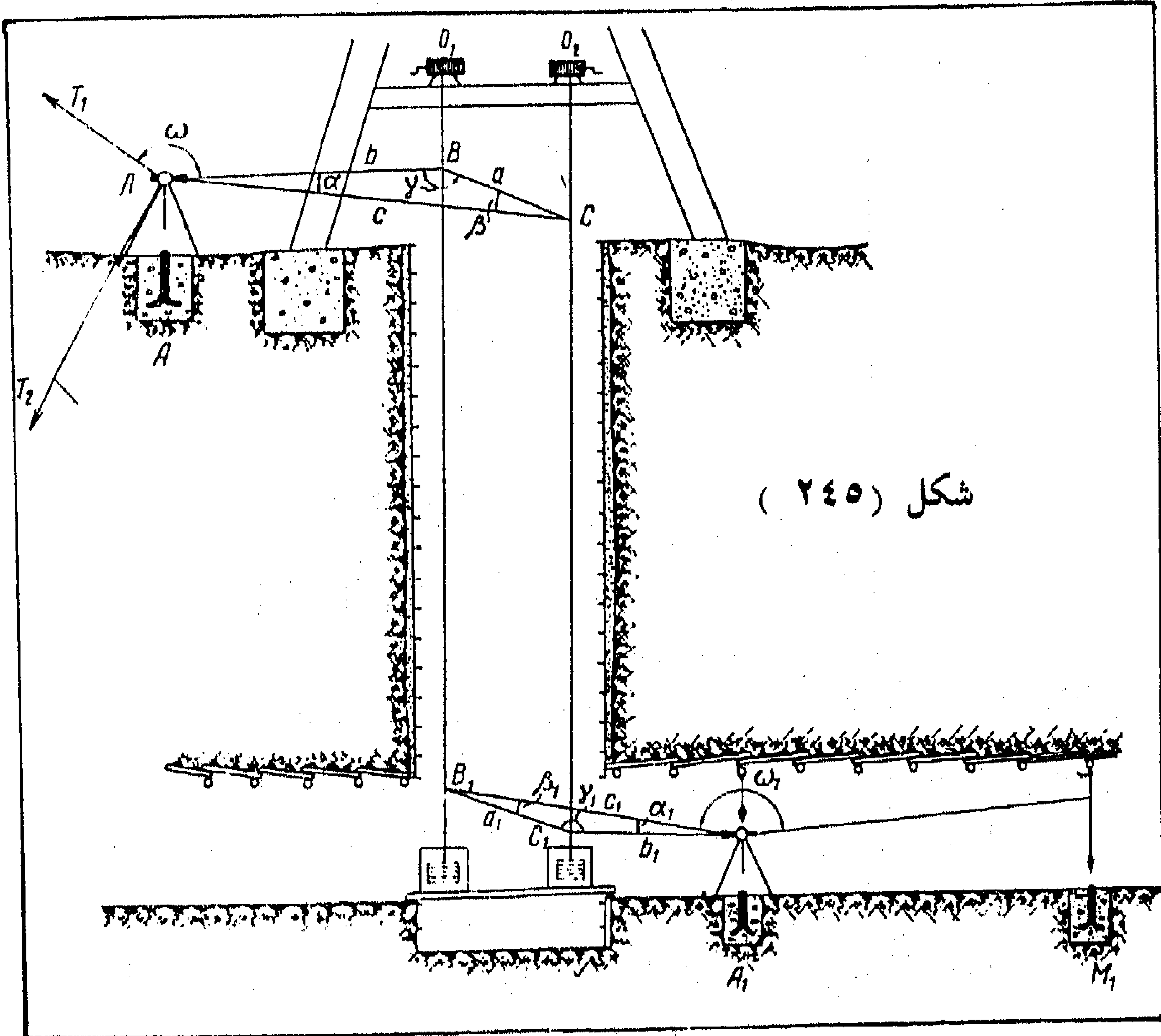
أما لحساب إحداثيات النقط D ، E بمعلومية إحداثيات النقط ١ ، ٢ فتقاس المسافة ل١ والمسافة ل٢ بدقة وبمعلومية انحراف الخط ١ — ٢ والمسافة ل١ يمكن معرفة إحداثيات نقطة O١ وكذلك بمعلومية المسافة ل٢ يمكن معرفة إحداثيات O٢ . ثم بقياس المسافة بين O٢ ، D (أى المسافة ل٣) وكذلك DE (أى المسافة ل٤) يمكن حساب إحداثيات النقط D ، E حيث أن انحراف الخط DE معروف وهو نفس انحراف الخط O٢ O١ .

الخطأ التربيعى المتوسط فى حساب زاوية انحراف الضلع DE من ١ — ٢ بهذه الطريقة حوالى ± ٣٠ ″ . ومنها فيكون الخطأ الكلى فى قيمة الانحراف يساوى ٦٠ ″ .

ثانياً ــ الربط بواسطة المثلثات المساعدة

(Weisbach Triangle)

وفى هذه الطريقة يسقط سلكا شاغول فى البئر حتى منسوب النفق كما فى الطريقة السابقة ثم يوضع تيودوليت على النقطة الأرضية A وتقاس الزاوية α عند A بين الاتجاهين إلى السلكين عند B ، C وتقاس كذلك الزاوية ω بين أحد الاتجاهين والاتجاه إلى نقطة المثلثات القريبة T_1 . وخلاف ذلك فتقاس المسافات A B ، A C من الجهاز إلى مكان نقطتى إسقاط الثقلين والمسافة B C كما فى الشكل (٢٤٥) .



شكل (٢٤٥)

وهكذا نجد أنه فى المثلث العلوى A B C قيست أضلاعه وإحدى زواياه وهذا المثلث يسمى بمثلث الربط . ومن نتيجة القياس يمكن إستنتاج قيمة

الزاويتين الآخرتين β و γ . وكذلك يمكن حساب انحراف الخط A B بمعلومية الزاوية ω ومنه نستطيع إستنتاج قيمة انحراف الخط B C .

أما الجزء السفلى خلال النفق فتثبت نقطة A_1 التى يتم الرصد منها إلى السلكين ومن هذه النقطة تقاس الزاوية α_1 والزاوية ω_1 المحصورة بين الاتجاه $A_1 B_1$ والاتجاه $A_1 M_1$ وكذلك أطوال أضلاع المثلث $A_1 B_1 C_1$. فبذا تكون قد قيست كل أضلاع مثلث الربط السفلى داخل النفق $A_1 B_1 C_1$ وزاوية من زواياه وبطريقة عكسية يمكن حساب انحراف ضلع الترافرس $A_1 M_1$ ويستمر القياس بعد ذلك على إمتداد النفق .

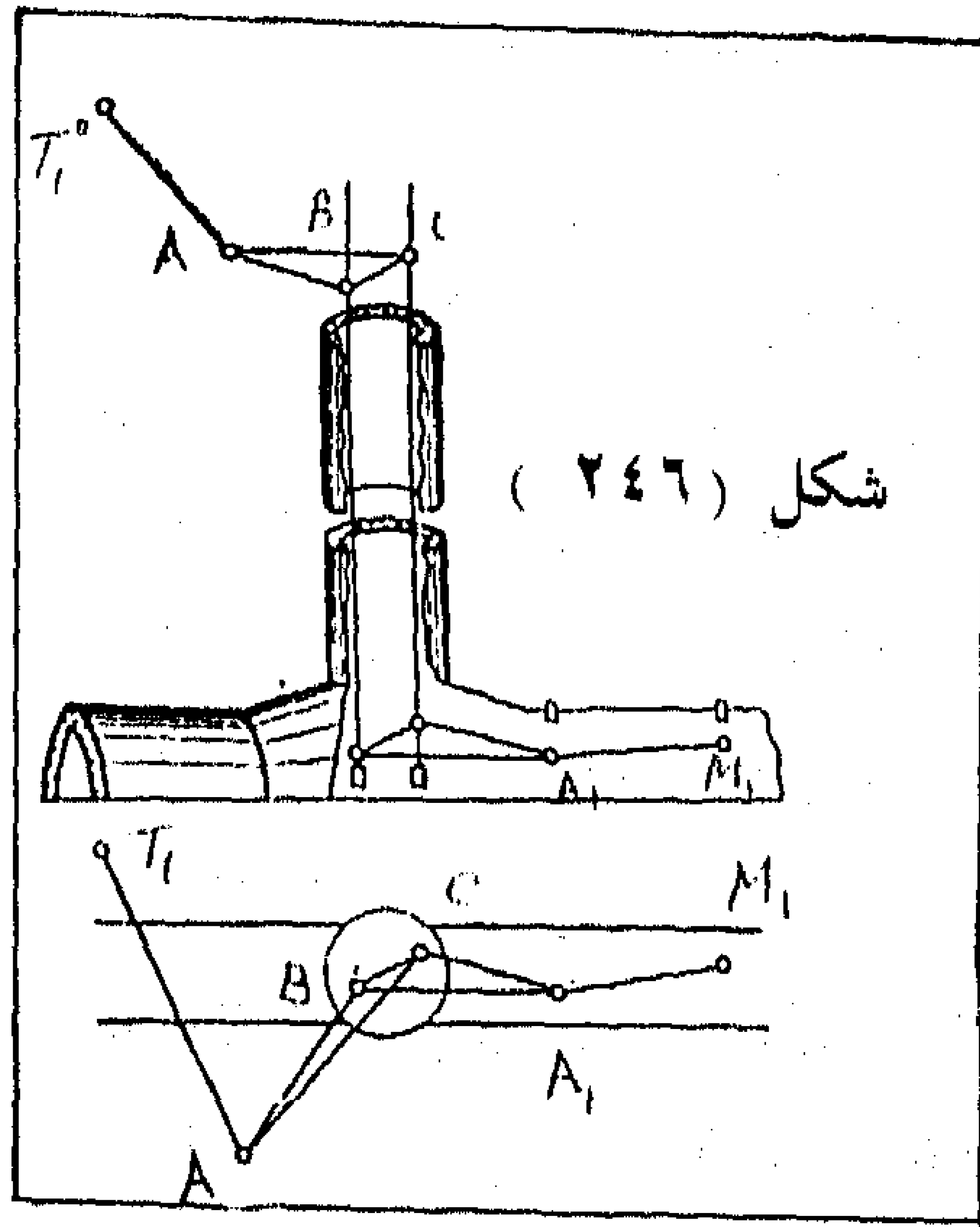
وبمعرفة إحداثيات النقطة A ، ومن بيانات المثلث الأرضى يمكن معرفة إحداثيات النقط C و B التى هى فى نفس الوقت إحداثيات النقط C_1 ، B_1 داخل النفق ثم تحسب إحداثيات النقطة A_1 وتسلسل منها باقى إحداثيات نقط الترافرس داخل النفق .

ويلاحظ أنه فى شكل (٢٤٥) تم رسم المثلثات بشكل فراغى للتوضيح وشكل (٢٤٦) يوضح مسقط ايزومترى لهذه العملية بالأضافة إلى مسقط أفقى يبين العلاقة بين مثلثى الربط العلوى والسفلى بحيث يمكن بسهولة اتمام حساب الأنحرافات للترافرس السفلى من واقع انحراف ضلع مثلث الربط العلوى حيث أن :

$$\text{جا}\ \beta = \text{جا}\ \alpha \cdot \frac{A\,B}{B\,C} \qquad (٢٠٢) \ldots\ldots$$

وبذا يمكن حساب انحراف الخط B C وهو ذاته انحراف الخط $B_1 C_1$. ومن زوايا المثلث السفلى يمكن تكملة الحساب . وعند اختيار مثلثات الربط تراعى الأعتبارات التالية حتى تظهر أقل قيمة ممكنة للأخطاء :

١ ــ أن يكون المثلث منفرج الزاوية والزاوية α يجب أن تقترب من الصفر بقدر الإمكان ولا تزيد قيمتها عن ٣° (ثلاث درجات) فى أى الأحوال .



شكل (٢٤٦)

٢ ــ المسافة بين السلكين تكون كبيرة بقدر الإمكان فمثلاً إذا كان قطر البئر ٦ متر فالمسافة بين السلكين يجب أن تكون بين ٤ ــ ٥,٥٠ متر .

٣ ــ أن تكون قيمة النسبة $\frac{AB}{BC}$ أقل ما يمكن .

وللأخطاء الممكن حدوثها أثناء الربط من أعلى (سطح الأرض) إلى داخل النفق يمكن حصرها فيما يلي :

١ ــ خطأ قياس زاوية الإنحراف ($\text{ف}_{\text{ح}}$) .

٢ ــ خطأ قياس الزاوية β (ف_{β}) .

٣ ــ خطأ قياس طول الضلع المجاور للزوايا ($\text{ف}_{\text{ل}}$) .

٤ ــ خطأ ثبات رأسية السلك ($\text{ف}_{\text{هـ}}$) .

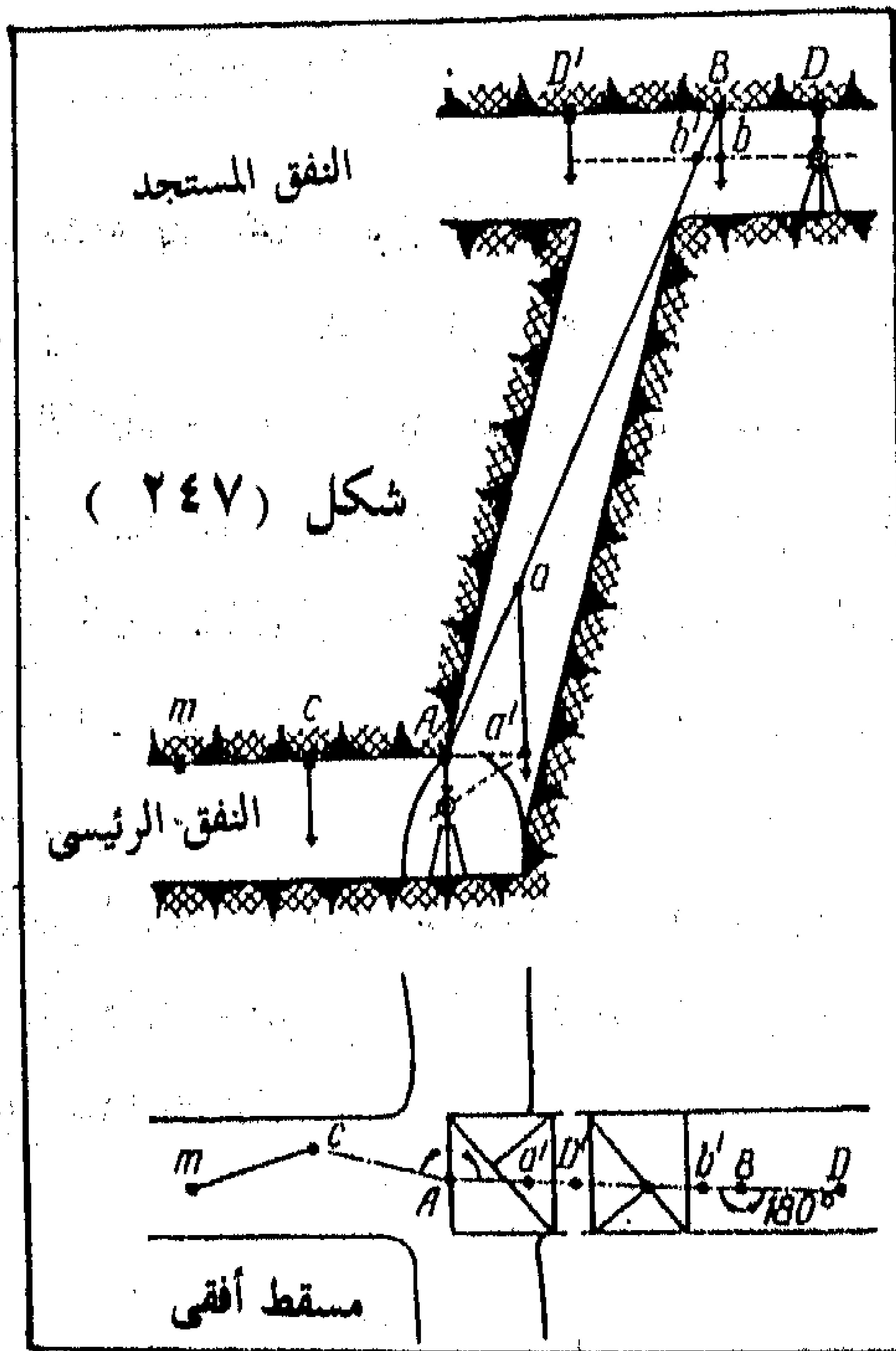
فيكون الخطأ النهائي للربط من أعلى إلى أسفل عبارة عن :

$$\text{ف}^2_{\text{ر}} = \text{ف}^2_{\text{ح}} + \text{ف}^2_{\beta} + \text{ف}^2_{\text{ل}} + \text{ف}^2_{\text{هـ}} \quad \text{.....} (٢٠٣)$$

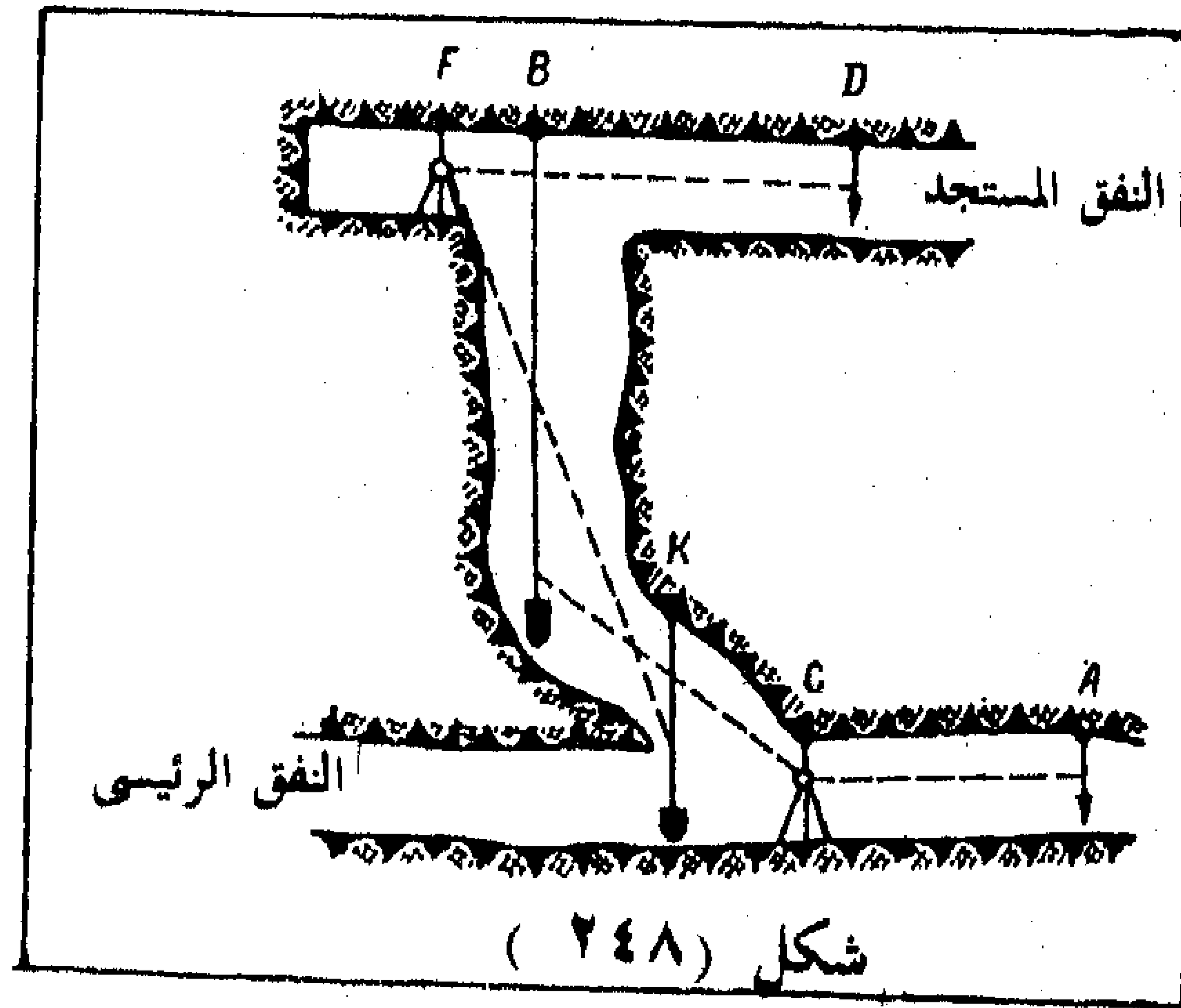
طريقة الربط خلال بئر مائل

وهى تستخدم عادة فى ربط محاور مجموعة من الأنفاق محاورها تقع فى مستويات مختلفة المناسيب ، وهذا يحدث عادة فى المناجم عندما يتم البحث عن المعادن فى أكثر من طبقة لها أكثر من منسوب ، أو فى محطات مترو الأنفاق التى يمر بها أكثر من مسار كل منها يتخذ منسوب معين .

وأسلوب الربط فى هذه الحالة يتم بحفر بئر مائل يصل بين النفق الرئيسى والنفق المستجد كما هو مبين فى شكل (٢٤٧) ، أو بحفر بئر يجمع بين الرأسى والمائل كما هو مبين فى شكل (٢٤٨) حيث يتم اختيار موقع الجهاز التيودوليت فى النفق الرئيسى يمكن منه الرصد إلى النفق الجديد كما هو مبين فى شكل (٢٤٧) وبتثبيت نقطة A أعلى التيودوليت بسقف النفق الرئيسى وبمعلومية نقط الربط فى النفق الرئيسى C ، M يتم تحديد إنحراف الخط A C . يتم تثبيت نقطة B فى سقف النفق الجديد ترى نقطة A ويتم ربط موضع النقطتين A ، B بسلك يعلق به خيط شاغول يمكن رصده بالتيودوليت الموضوع عند A



وبالتالى يمكن تحديد انحراف الخط A B بقياس الزاوية C A a ′ وبمعرفة انحراف A c يعلق خيط شاغول عند B فى النفق الجديد وتختار نقطة D فى نفس إتجاه خيط الشاغول ــ السلك (إتجاه b ′ b) حيث يثبت جهاز تيودوليت عند D يرصد به الأتجاه b ′ b ويثبت به موضع نقطة جديدة فى هذا النفق ′ D ، والآن أصبح لدينا ثلاث نقط ربط فى هذا النفق D ، B ، ′ D انحراف الخط الواصل بينهم هو نفسه انحراف الخط ′ A a فى النفق الرئيسى .



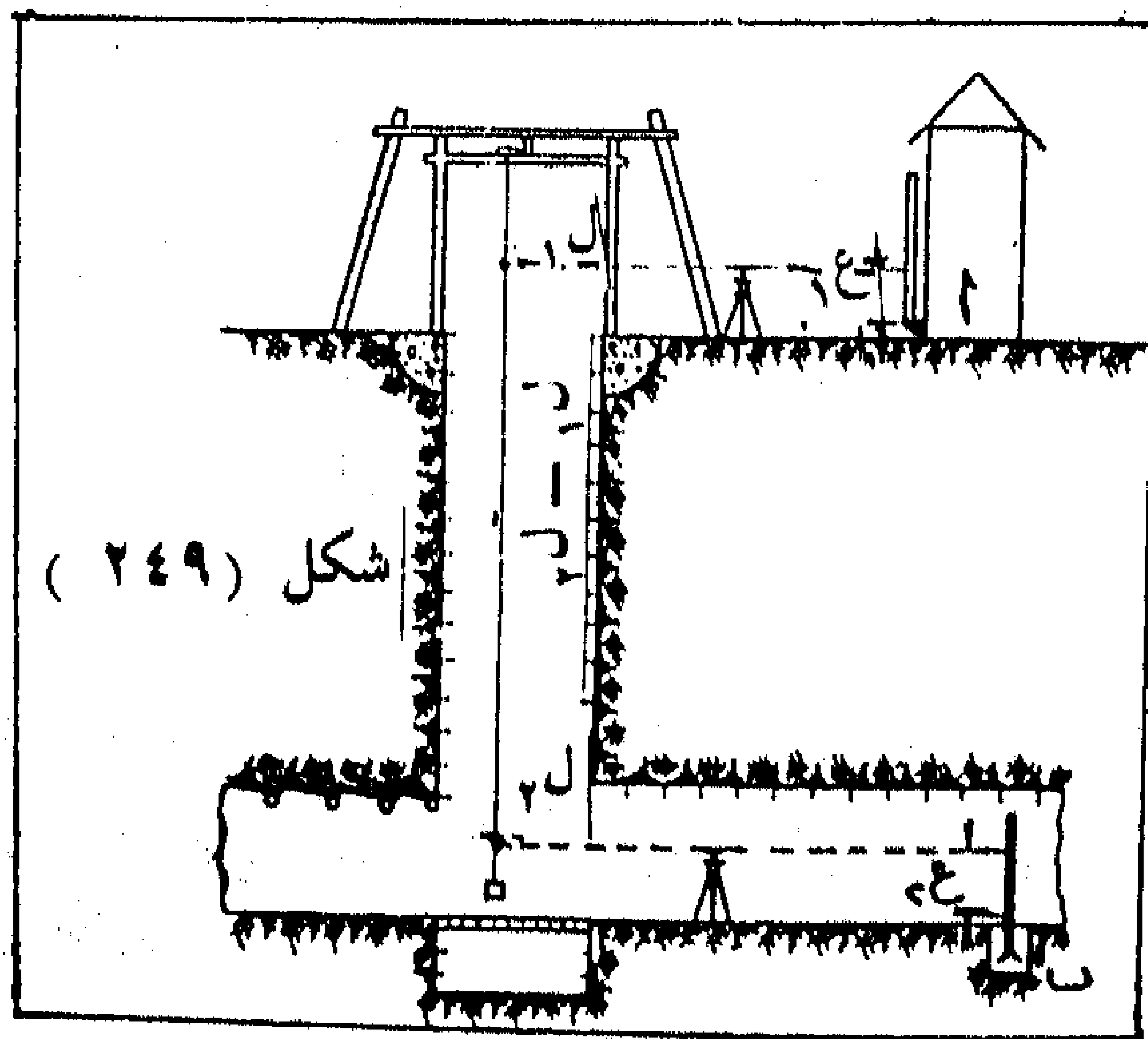
شكل (٢٤٨)

وفى حالة استخدام بئر يجمع بين الرأسى والمائل كما هو فى شكل (٢٤٨) فإنه يختار للتيودوليت موقع عند C فى النفق الرئيسى ويتم الرصد على نقط الربط A فيتحدد الأتجاه C A ، ثم يتم تعليق خط شاغول فى نهاية الجزء المائل عند السقف وليكن عند K حيث يتم الرصد عليه من C فيتحدد الأتجاه C K ويتم اختيار موضع لخيط شاغول جديد يعلق فى سقف النفق الجديد عند نقطة B بحيث يكون هذا الشاغول فى نفس الأتجاه C K (أى يتم رصده بالتيودوليت من C) وبهذا تصبح كلا من C ، K ، B على خط واحد . بأختيار موقع للتيودوليت فى النفق الجديد F على استقامة K ، B يصبح الأتجاه F B K مطابق للأتجاه C K B وعلى ذلك تختار أولى نقط الربط الجديدة فى النفق الجديد وهى النقطة D تقع على هذا الاتجاه .

نقل المناسيب من سطح الأرض إلى داخل الأنفاق

لا تقل دقة تنفيذ الميزانية عن دقة تنفيذ المثلثات أو الترافرسات . وفى العادة تسلسل ميزانية الأنفاق من روبيرات الدرجة الثانية الحكومية ثم تربط خلال آبار الحفر إلى أسفل إنفاق الخدمات ثم خلال النفق ذاته . لذا فتركب علامات شبيهة بالروبيرات على مسافات على طول محور النفق لتخدم عملية الميزانية ، وفى نفس الوقت تستعمل هذه العلامات لضبط الهبوط الرأسى فى جسم النفق نفسه .

وتحدد درجة الميزانية تبعاً للطول التصميمى للنفق وتبعاً للغرض الذى تجرى من أجله الميزانية . وفى العادة فإن ميزانية من الدرجة الرابعة تحقق الدقة المطلوبة وهذه كافية للأنفاق الطويلة حتى ٥ كم . أما فى حالة حساب الهبوط الرأسى لجسم النفق فيلزم عمل ميزانية من الدرجة الثالثة وفى العادة لنقل المناسيب إلى داخل النفق تستخدم طريقة الميزانين والشريط وفيها يعلق شريط من الصلب رأسياً داخل بئر الحفر شكل (٢٤٩) بحيث تكون علامة الصفر فيه إلى أسفل ويوضع ميزان على السطح متوسطاً المسافة بين الشريط وبين النقطة الثابتة ا ، وميزان آخر داخل النفق متوسطاً المسافة بين الشريط وبين علامة الميزانية داخل النفق ب . وفى وقت واحد نأخذ قراءة الميزان العلوى والسفلى على الشريط ولتكن ل١ ، ل٢ ثم فى وقت واحد أيضاً نأخذ قراءتى القامة العلوية والسفلية ولتكن ع١ ، ع٢ . وبهذا فإن منسوب علامة الميزان ب يكون مساوياً .



شكل (٢٤٩)

$$\text{منسوب ب} = \text{منسوب (أ)} + \text{ع}_1 - [\,(\text{ل}_1 - \text{ل}_2) + \triangle\,\text{ت} + \triangle\,\text{ك}\,] - \text{غ}_2 \qquad \ldots\ldots (204)$$

حيث :

$\text{ل}_1 - \text{ل}_2$ = فرق القراءتين على الشريط .

△ ت = التصحيح فى طول الشريط لدرجة الحرارة .

△ ك = التصحيح المطلق للشريط المستخدم .

والتصحيح فى طول الشريط لدرجة الحرارة يمكن حسابه من المعادلة الآتية :

$$\triangle\,\text{ت} = \alpha\,(\text{ل}_1 - \text{ل}_2)\,(\text{ت} - \text{ت}_1) \qquad \ldots\ldots (205)$$

حيث :

α = معامل التمدد لمادة الشريط (وهو فى حالة الصلب = ١١ × ١٠$^{-6}$) .

ت_1 = درجة حرارة المعايرة للشريط .

ت = درجة الحرارة المتوسطة أثناء إجراء الميزانية .

ويجب التنويه هنا إلى أن درجة الحرارة على سطح الأرض تختلف عنها داخل النفق لذلك ولزيادة الدقة نأخذ درجة الحرارة عند السطح وكل خمسة أمتار داخل بئر الحفر وحتى أسفل شريط القياس ثم يؤخذ المتوسط . أما التصحيح المطلق △ ك فيمكن الحصول عليه بإجراء معايرة للشريط المستخدم ومقارنة الطول العيارى بالطول الأسمى له .

ويجب مراعاة إجراء التصحيح فى الشريط △ ل نتيجة للتمدد الناتج فيه من وزنه الأصلى وما يعلق فيه من أحمال لثباته أثناء إجراء الميزانية ، وهذا التصحيح يحسب من المعادلة الآتية :

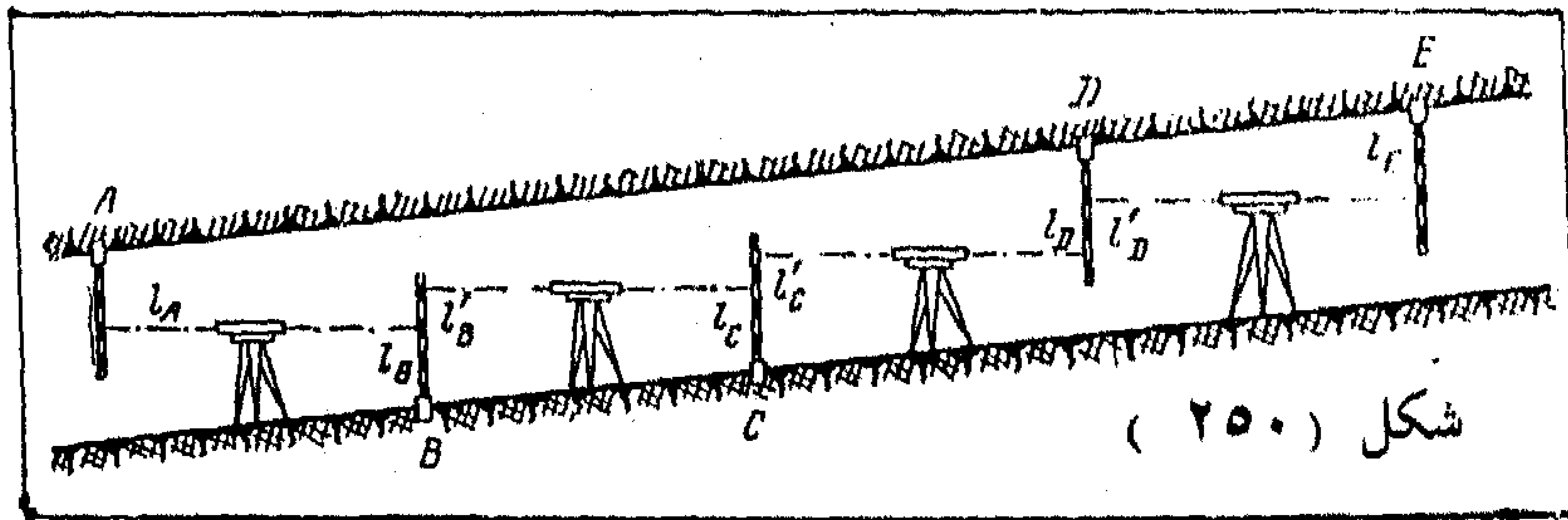
$$\triangle ل = \frac{(ل_{١} - ل_{٢})\ و}{٢\ س\ .\ ى} \quad ......(٢٠٦)$$

و = وزن طول قدره ($ل_{١} - ل_{٢}$) من الشريط كجم + وزن الثقل المعلق بالشريط .

س = مساحة مقطع الشريط .

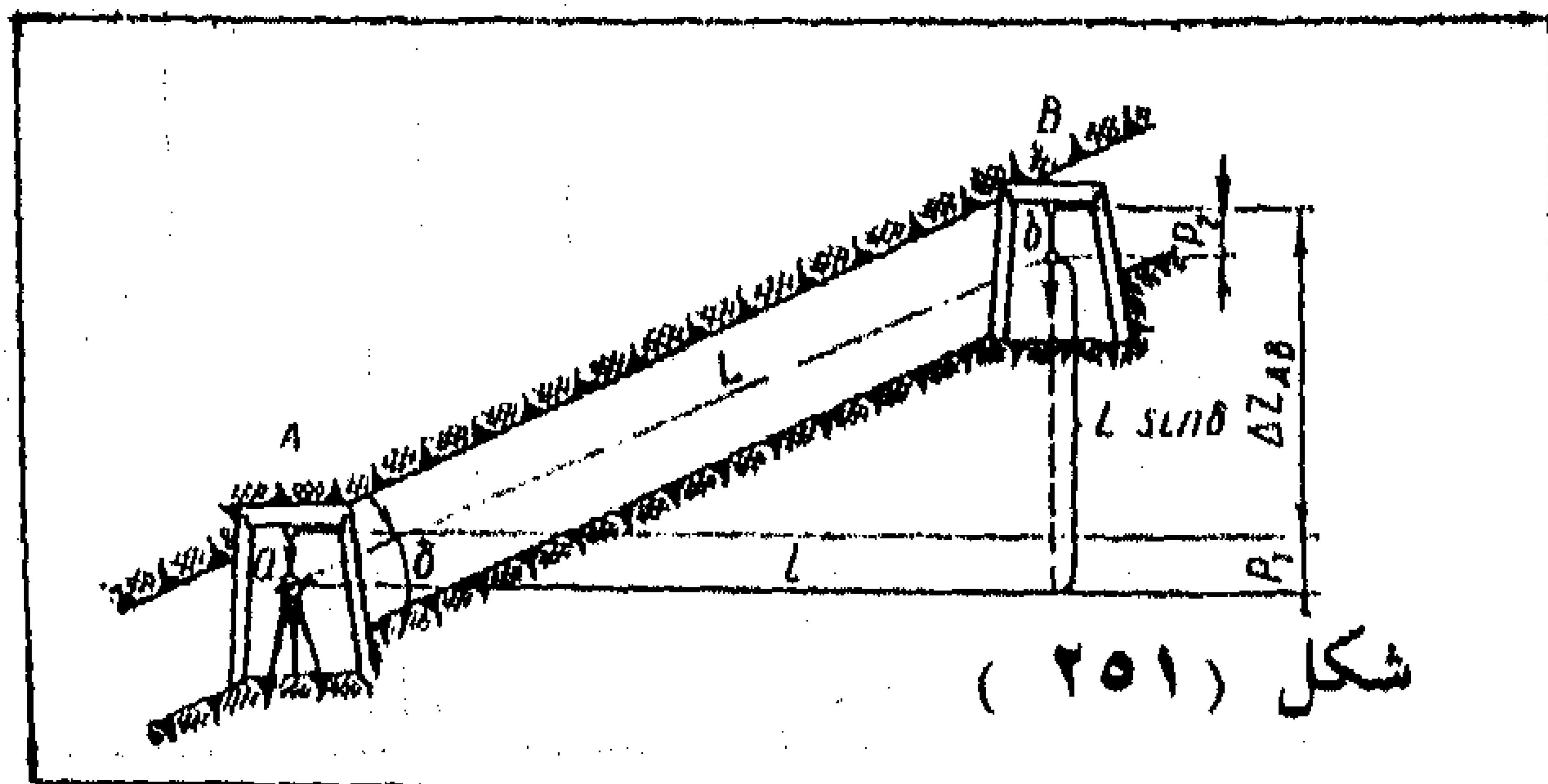
ى = معامل المرونة لمادة الشريط .

بعد الحصول على منسوب أولى النقط داخل النفق تسلسل ميزانية طولية على طول محوره وذلك إذا كان النفق أفقياً أو يميل ميلاً بسيطاً وبذلك يمكن الحصول على مناسيب نقطه المختلفة سواء كانت مناسيب أرضيته أو مناسيب سقفه كما هو مبين فى شكل (٢٥٠) . أما إذا كان محور النفق يميل ميلاً كبيراً



شكل (٢٥٠)

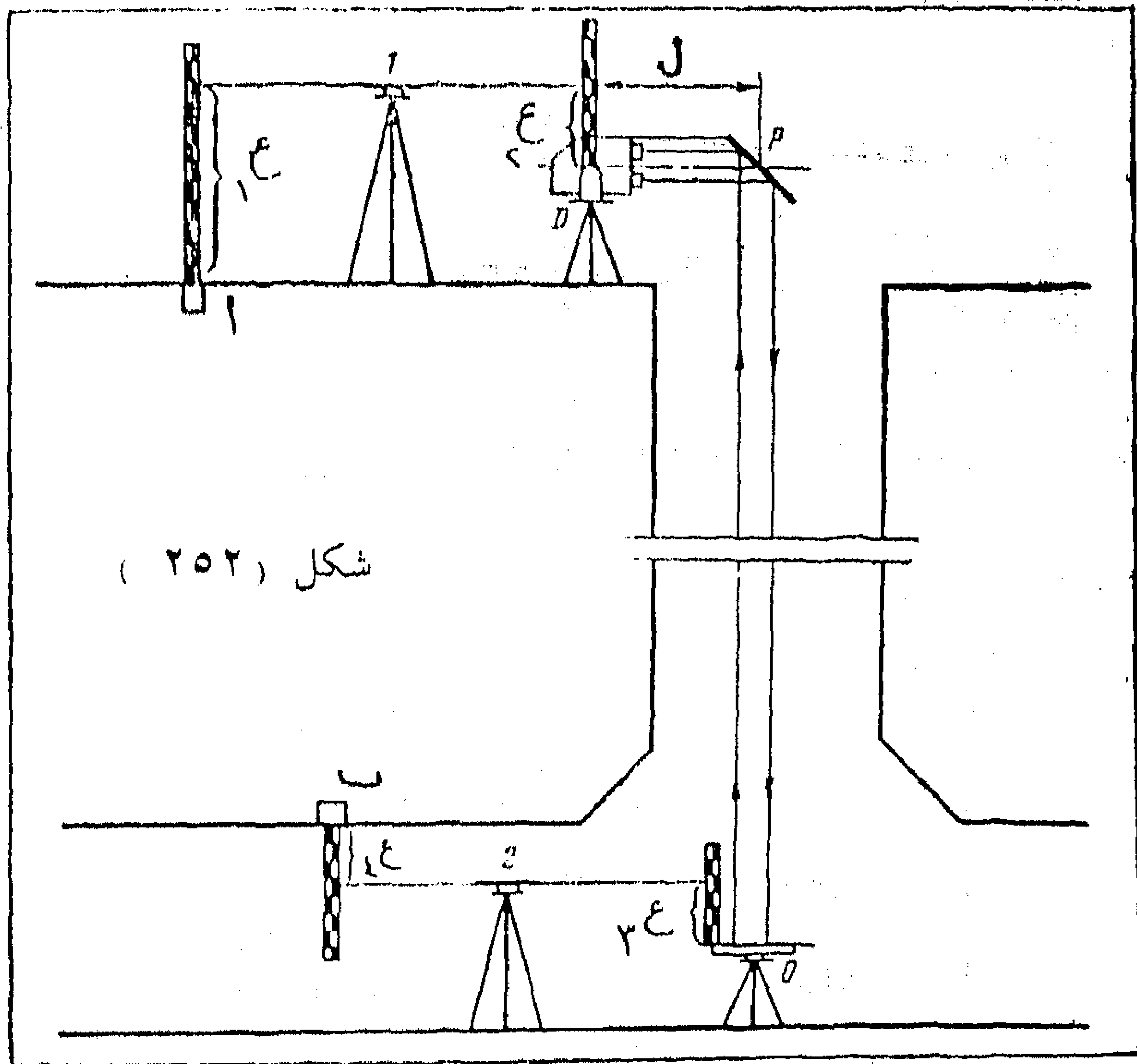
فإنه فى هذه الحالة يمكن إستخدام طريقة الظلال لإستنتاج المنسوب كما هو موضح فى شكل (٢٥١) .



شكل (٢٥١)

استخدام الأجهزة الكهروضوئية فى إيجاد مناسيب الانفاق :

نظراً للدقة العالية فى قياس المسافات بالأجهزة الكهروضوئية فإنها تستخدم بنجاح الآن فى نقل المناسيب من سطح الأرض إلى داخل الأنفاق بدلاً من طريقة الشريط المعلق وفى هذه الحالة يلزمنا بالإضافة إلى الجهاز الكهروضوئى منشور عاكس زاويته ٤٥° بحيث يحرف الأشعة بمقدار ٩٠° (أو يمكن إستخدام مرآة تميل على الأفقى ٤٥°) وكذلك مرآة عاكسة توضع أفقية فى قاع البئر على حامل خاص (أو على اللوحة المستوية مثلاً) كما هو موضح فى شكل (٢٥٢) . ويوضع الجهاز الكهروضوئى على سطح الأرض فى مواجهة المنشور العاكس وتقاس المسافة الأفقية من محور الجهاز الرأسى وحتى منتصف السطح العاكس للمنشور ولتكن ل . وبتشغيل الجهاز نحصل على المسافة المقاسة فى هذه الحالة ف والتى تكون مساوية .



شكل (٢٥٢)

ف = ل + العمق الرأسى من منتصف العاكس وحتى سطح المرآة الأفقية العاكسة .

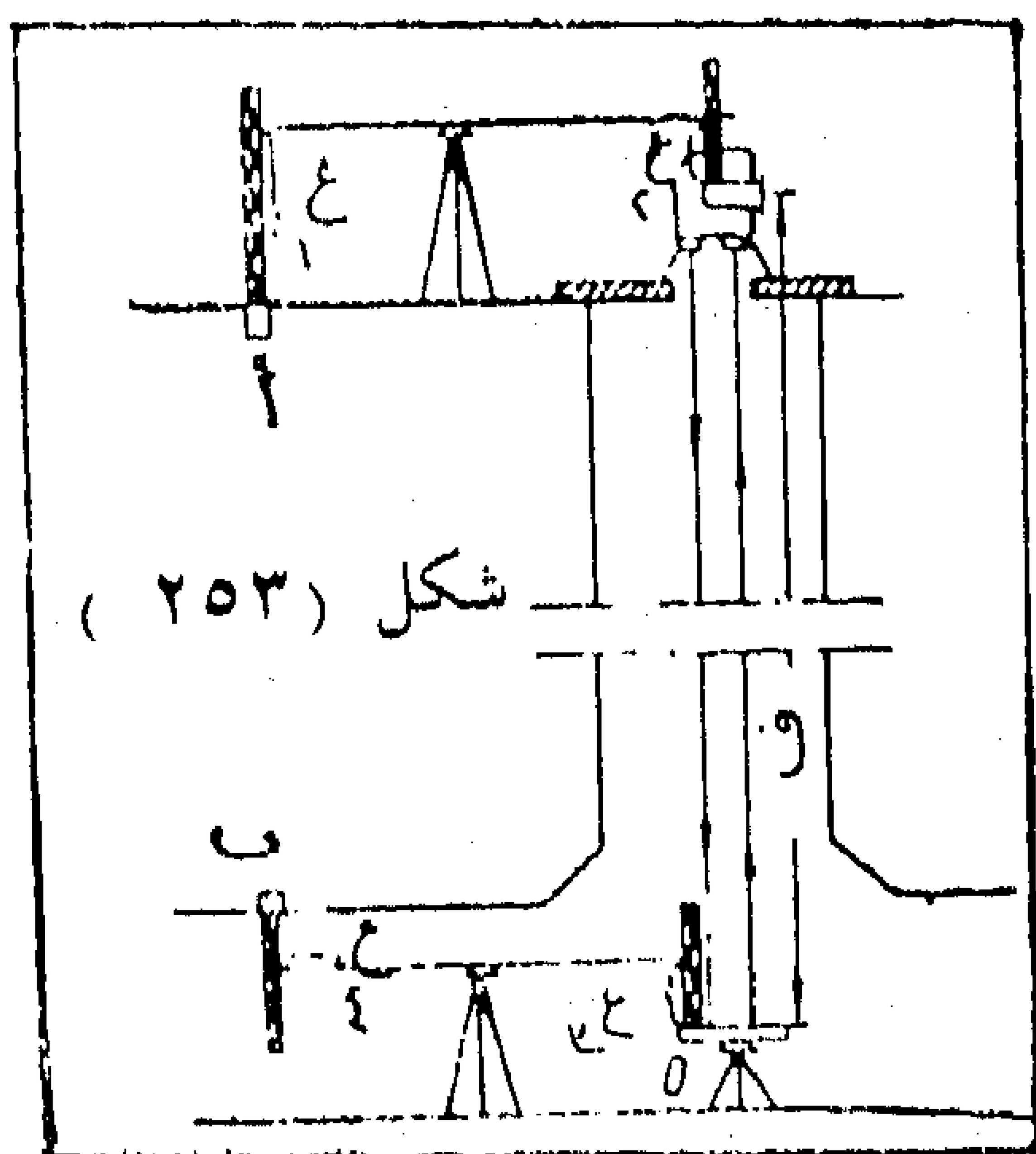
ثم بإستخدام الميزان الموجود على سطح الأرض نأخذ قراءتين الأولى $ع_1$ على القامة وهى موضوعة على النقطة الثابتة (أ) والثانية $ع_2$ على القامة وهى موضوعة عند محور دوران الجهاز الأفقى . ثم بإستخدام الميزان الموجود داخل النفق نأخذ القراءة $ع_3$ على القامة الموضوعة فوق المرآة الأفقية العاكسة أسفل البئر والثانية $ع_4$ على القامة الموضوعة فوق علامة الميزانية (ب) داخل النفق .

وبهذا يكون منسوب علامة الميزانية (ب) داخل النفق هو :

منسوب (ب) = منسوب (أ) + ($ع_1$ — $ع_2$) — (ف — ل) + ($ع_3$ + $ع_4$)	.... (٢٠٧)

والواقع أنه يمكن إيجاد عمق البئر مباشرة بالجهاز الكهروضوئى دون إستخدام المنشور العاكس وذلك بوضع الجهاز مباشرة أعلى البئر موجهاً إلى أسفل وإن كان يلزم فى هذه الحالة حامل خاص للجهاز لإستيفاء هذا الغرض كما هو موضح فى شكل (٢٥٣) . وبهذا تكون المسافة المقاسة بالجهاز الكهروضوئى هى العمق الرأسى للبئر من محور الجهاز وحتى سطح المرآة الأفقية العاكسة وعليه يكون منسوب نقطة (ب) مساوياً :

منسوب (ب) = منسوب (أ) + ($ع_1$ — $ع_2$) — ف + ($ع_3$ + $ع_4$)	.... (٢٠٨)



شكل (٢٥٣)

القسم السادس
التطبيقات الدقيقة للمساحة
فى الهندسة المدنية

الباب الرابع والعشرون
حساب تحركات المنشئات

الطرق المساحية لضبط تحركات المنشآت

إن التقدم العلمى المستمر فى علم ميكانيكا التربة أعطانا الإمكانيات والطرق التى نستطيع بواسطتها التنبؤ بمقدار ما سيحدث للمنشأ من تحركات مع الزمن وذلك بعد دراسة نوع التربة ونوع المنشأ وتوزيع الأحمال على التربة . ومن هنا تظهر أهمية عمل متابعة لهذه التحركات . فإذا استمرت ، كما هو متنبأ به ، كان ذلك طبيعياً وإلا فيجب أن يدرس السبب فى عدم مطابقة التحرك لما هو متوقع . وبتحديد السبب يمكن تحديد طريقة العلاج .

ويعتبر عنصر الوقت عند معرفة هذا الإختلاف بين التحرك المتوقع والتحرك الناتج مهماً جداً حيث أن أى تأخير قد يساعد فى حدوث مضاعفات نحن فى غنى عنها فقد تصيب المنشأ بانهيار ومن هنا تظهر أهمية المتابعة المنتظمة والمستمرة .

ومتابعة التحركات للمنشآت هو أحد تخصصات المساحة التطبيقية الهامة ، فقياس الهبوط والانحراف والميل تتطلب طرق مساحية عالية الدقة فى أعطائها للنتائج وهذه توجب خبرة فى المهندس الذى يقوم بالقياس . ولكى تكون نتائج القياس مقبولة لابد من توافر بعض الإشتراطات حتى نحصل على أقرب قيمة للحقيقة . وهذه الاشتراطات يجب أن تتوفر فى الراصد وفى طريقة الرصد حتى نقلل من تأثير العوامل الخارجية على القياس بقدر الامكان .

ومتابعة التحركات تبدأ مع بداية إنشاء المنشأ وتستمر المتابعة حتى يصبح التحرك فى حدود ١ ــ ٢ مم فى السنة وهنا نستطيع القول بأن المبنى قد إستقر .

أما أماكن وضع علامات الرصد وفترات القياس وطرقه فتحدد قبل بداية الإنشاء بعد دراسة العوامل المحيطة بالمشروع من نوع التربة وشكل الأساسات وكذلك المقادير المتوقعة للتحركات .

أنواع التحركات :

تقسم التحركات إلى نوعين :

١ ــ تحركات رأسية .

٢ ــ تحركات أفقية .

التحركات الرأسية للمنشآت

الواقع أن تحركات المنشآت فى الإتجاه الرأسى قد تحدث نتيجة أسباب عدة وهى :

أولاً ــ التحركات بسبب عوامل طبيعية :

وهو مقدار تحرك المنشأ الناتج بسبب تأثير ثقله أو أى قوى خارجية أخرى تؤثر على اتزانه مما يتسبب فى إضافة قوى جديدة تؤثر على تغيير ترتيب حبيبات التربة الحاملة ويحدث التحرك . ويمكن تقسيم هذه التحركات إلى الأنواع الآتية :

١ ــ الهبوط الرأسى :

وهو التحرك الرأسى للمنشأ تحت ثقله وقيمته تظهر أثناء الإنشاء وتأخذ فى الزيادة باضطراد وتبلغ أكبر قيمة بعد الإنشاء مباشرة ثم تقل الزيادة فى الهبوط حتى تحل فترة الراحة التى يكون فيها الهبوط غير ملموس وتختلف بداية هذه الفترة حسب طبيعة التربة من ١٠ إلى ٥٠ سنة تبعاً للعوامل المحيطة .

٢ ــ الهبوط الرأسى غير المتساوى :

هو عبارة عن هبوط أجزاء من المنشأ بقيم غير متساوية ــ فمثلاً هبوط مجموعة قواعد أساسات لمبنى بقيم أكبر أو أقل من قيم هبوط المنشأ أو هبوط خازوق بقيمة تختلف عن قيم باقى الخوازيق الحاملة للمبنى ــ وفى هذه الحالات قد يحدث تشرخ فى أجزاء المبنى إذا كانت قيمة الاختلاف فى الهبوط كبيرة ولم يستطيع المبنى تحمل وإمتصاص القوى التى تنتج من وجود هذا الفرق .

٣ ــ الميل ناحية أحد الجوانب :

إذا كان المبنى صلباً ومتماسكاً وأختلفت تأثير القوى على الأرضية الحاملة له

وكان التأثير من ناحية أكبر من الناحية الأخرى أو يختلف نوع التربة من ناحية عن الأخرى ففى هذه الحالة يحدث ميل للمبنى ناحية القوى الأكبر أو ناحية التربة الأضعف . والميل فى هذه الحالة يأخذ شكلاً مستقيماً مائلاً .

٤ ــ التواء المنشأ أو اعوجاجه :

وهو ما يحدث للمنشآت التى يكون تماسكها كبير نسبياً عندما يختلف الهبوط لأساساتها فيحدث أن يلتوى المنشأ ولكنه يظل متماسكاً لقوة ترابطه ببعض والإلتواء عادة يكون بشكل منحنى إنسيابى .

٥ ــ انحناء المنشأ أو انثنائه :

وهو عبارة عن التواء أو اعوجاج للمنشأ ولكن بشكل حاد غير متناسق .

٦ ــ الشروخ :

وهو ما يحدث عندما ينقسم المنشأ إلى قسمين أو أكثر بسبب إنتهاء قدرة بعض أجزاء المبنى على التماسك بعد حدوث هبوط غير متساوى لم تستطع قوة تماسك المبنى على التغلب عليها .

ثانياً ــ التحركات بسبب عوامل مفاجئة :

وهو التحرك الذى يحدث للمنشأ بسبب تحركات أرضية مفاجئة مثل الزلازل والهزات الأرضية وتحركات القشرة الأرضية وهذه القوى لا تؤخذ فى الحسابات العادية عند تصميم المنشأ إلا إذا كان حدوثها متوقعاً .

الطرق المساحية لقياس التحركات الرأسية للمنشآت المدنية

تعتمد إختيار طريقة قياس التحركات على عدة عوامل منها نوع المنشأ نفسه والإمكانيات المتاحة ثم الدقة المطلوبة ويمكن تلخيص طرق القياس فيما يلى :

١ ــ الميزانية : (بدرجاتها المختلفة الأولى والثانية والثالثة) :

وتستعمل لقياس التحرك الرأسى ــ أى الهبوط ــ وذلك بوضع نقط على المنشأ ثم متابعتها وحساب مقدار الهبوط .

٢ ــ الميزانية الهيدروستاتيكية :

وهذه تستعمل لقياس التحرك الرأسى لمنسوب نقطة ثابتة فى مجال مقفول ومحدود وقد تطورت هذه الأجهزة لدرجة أنها تعطينا حتى الرقم العشرى الثانى من الملليمتر (وقد سبق شرح نظرية هذه الطريقة فى المؤلف الثانى من هذه الموسوعة) .

٣ ــ طرق التصوير الأرضية (الفوتوجرامترى أو الأستريوفوتوجرامترى):

وذلك بأخذ صور من أماكن ثابتة للمنشأ فى فترات زمنية مختلفة ثم تحديد التحرك بمقارنة الصور الناتجة .

٤ ــ طرق القياس بالأجهزة الالكترونية :

٥ ــ طرق القياس بأجهزة خاصة :

وهذه صممت خصيصاً لقياس التحركات مثل طريقة العوامة الرأسية والكلينومتر والتليمتر والميكروكرينومتر وغيرها ...

طريقة قياس الهبوط بواسطة الميزانية

وتعتبر هذه الطريقة من أهم طرق قياس الهبوط وأوسعهم إنتشاراً وتستعمل عادة ميزانية الدرجة الثالثة ــ ويمكن إستعمال هذه الطريقة فى قياس هبوط المنشآت إذا كان معدل هبوطها حوالى ٥ مم شهرياً ويتم العمل بهذه الطريقة بمقارنة مناسيب نقط الهبوط على المنشأ بمنسوب روبير ثابت .

وتتم مراحل عمل الميزانية بالخطوات الآتية :

١ ــ توزيع علامات الهبوط على المنشأ بحيث تعطى صورة معبرة عن هبوطه .

٢ ــ إختيار أجهزة القياس المساحية .

٣ ــ عمل الميزانية من الروبير إلى علامات الهبوط .

٤ ــ يكمل عمل المكتب للميزانية وترسم خطوط بيانية تظهر مقادير الهبوط المختلفة .

٥ ـــ بعد تكرار عمل الميزانية عدة مرات وملاحظة النقط يستمر تكرار عمل الميزانية ولكن على النقط التى يظهر فيها الهبوط ملحوظاً .

العلامات المساحية التى تستعمل فى قياس هبوط المنشآت

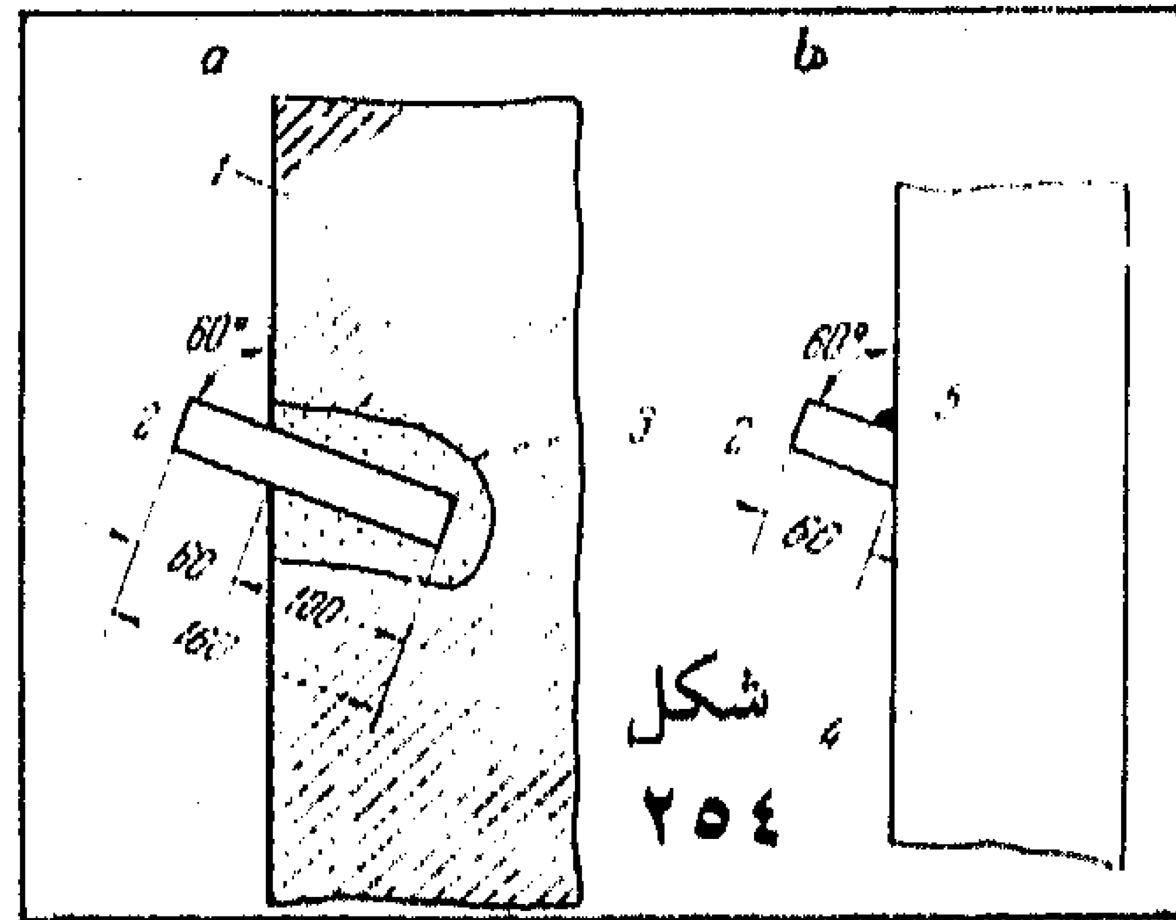
عند قياس قيمة تحرك مبنى سواء للمتابعة أو لعمل بحث علمى على مقدار تحركه تعتمد طريقة القياس على عدة عوامل أهمها :

الغرض من معرفة قيمة التحرك وكذلك الطبيعة الجيولوجية للتربة ومنسوب المياه الجوفية ولذلك فتستعمل العلامات الآتية :

أولاً ـــ الروبيرات :

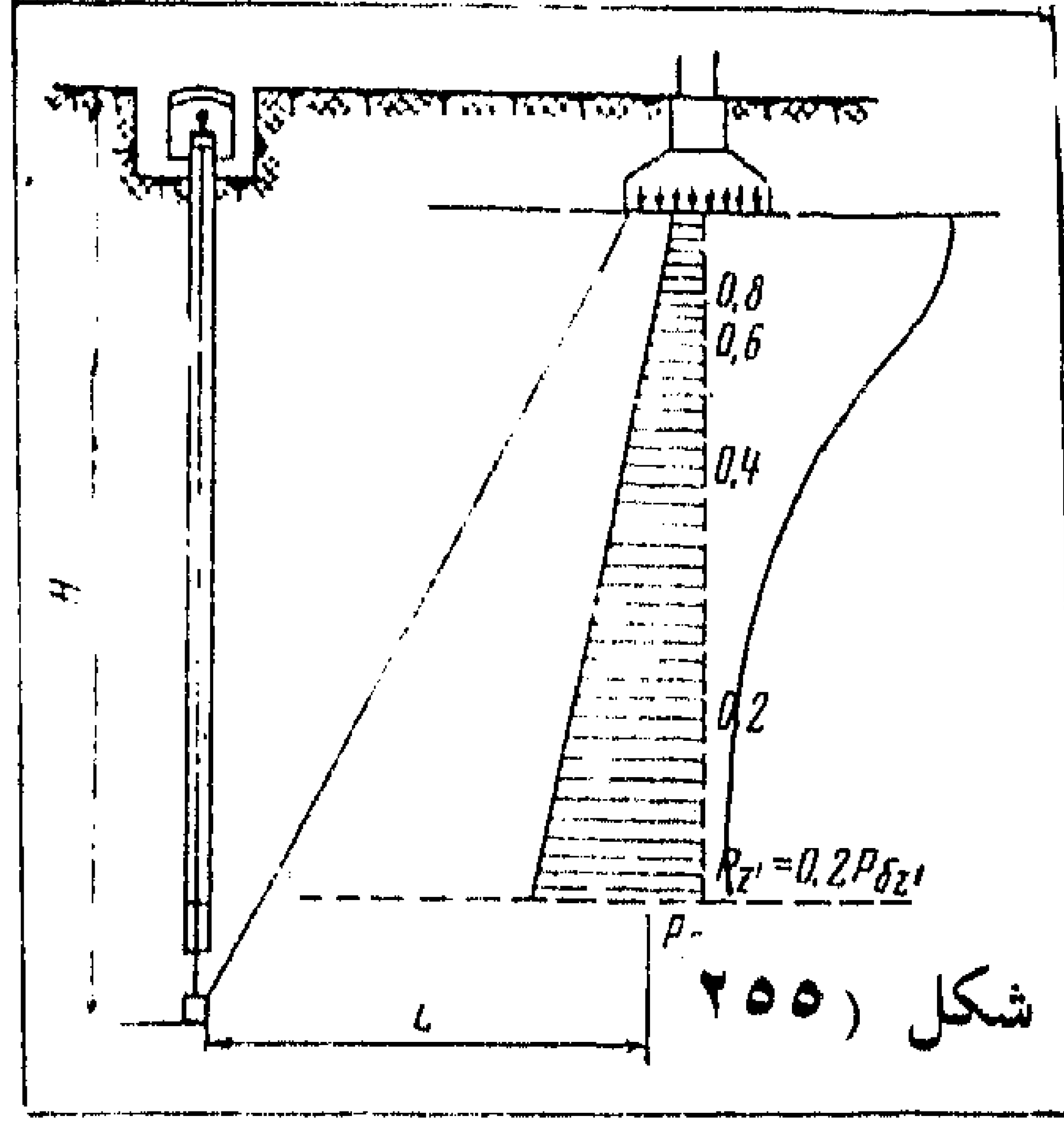
وتستعمل الروبيرات الحكومية سواء كانت حائطية أو عميقة مادامت قريبة من المنشأ المراد حساب قيمة هبوطه . أما إذا لم تتواجد روبيرات قريبة فتنشأ روبيرات خاصة ويفترض لها منسوب اسمى للرجوع إليه ويلاحظ فى الروبيرات المنشأة أن تكون بعيدة عن تأثير أى قوى خارجية قد تؤثر على ثبات منسوب الروبير والتربة التى تحته .

والروبيرات التى لا تؤثر عليها قوى خارجية قد تكون حائطية بأن يثبت خابور أو مسمار أو قطاع معدنى (شكل ٢٥٤) فى حائط متين يكون قد



شكل ٢٥٤

وصل مقدار هبوطه إلى فترة الأستقرار (الراحة) . أو روبيرات عميقة تصل حتى المنطقة التى لا تؤثر فيها أى قوى خارجية (أى يكون الضغط فى التربة نتيجة أوزان المنشأ أقل ما يمكن) كما فى شكل (٢٥٥) .



شكل (٢٥٥

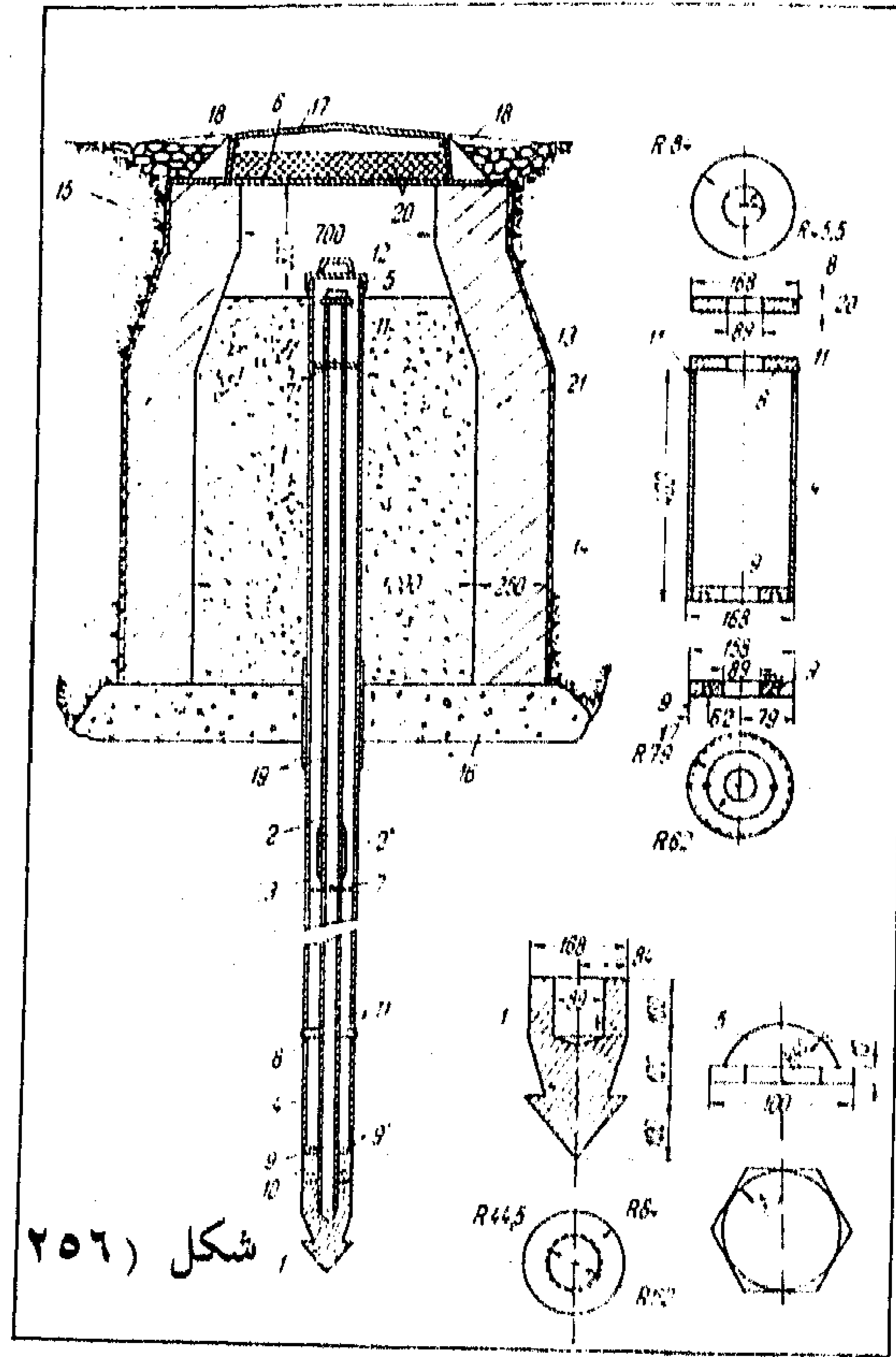
أما أشكال الروبيرات العميقة فهى تختلف حسب نوع التربة وكذلك العمق الذى من المفروض أن تصل إليه . وشكل (٢٥٦) يبين قطاعاً طولياً فى أحد أنواع الروبيرات العميقة يبين التفاصيل الكاملة له والأبعاد الخاصة بأجزاءه المختلفة .

وعموماً تتكون الروبيرات العميقة من ماسورة تدق فى الأرض حتى تصل إلى العمق المطلوب ولضمان حمايتها تحاط من الخارج بماسورة أوسع منها تدق أولاً وتثبت من أعلى بالخرسانة ثم يملأ الفراغ بين الماسورتين بواسطة البيتومين . ولكل نوع تربة يتم تصميم الروبير العميق المناسب لطبيعة طبقات الأرض .

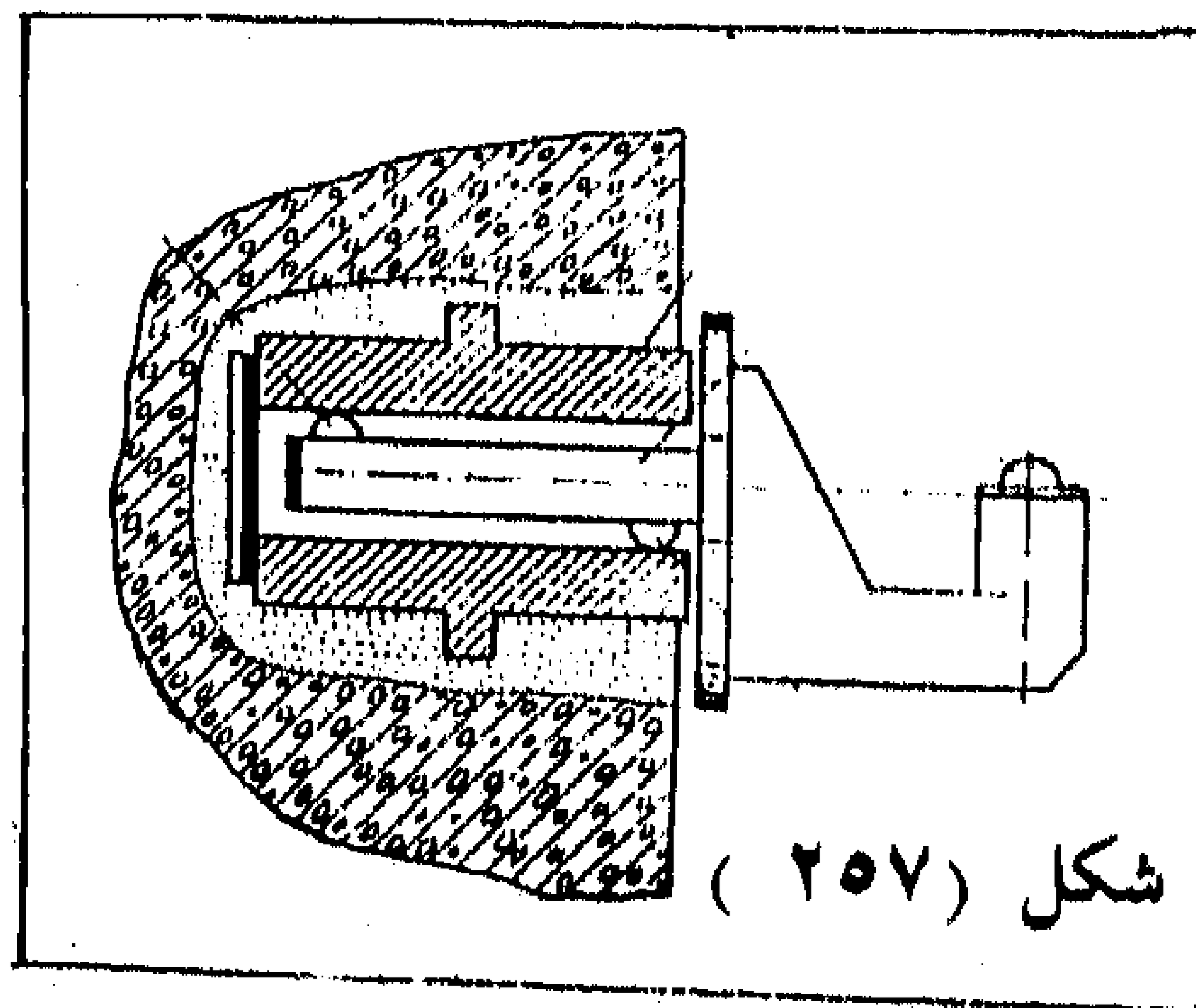
وفى بعض الأحيان وللأعمال المتناهية الدقة ولضمان عدم تأثير المنسوب بتغير درجة الحرارة فتدق ماسورتان من مادتين مختلفتين (مثل النحاس والنيكل) ويصل بين نهايتى طرفاهما العلوى بمقياس مدرج يقيس فرق تمدد الماسورتين ويؤخذ مقدار الفرق بين التمدد فى الماسورتين فى الاعتبار عند حساب منسوب الروبير .

ثانياً ــ علامات الهبوط على المنشأ :

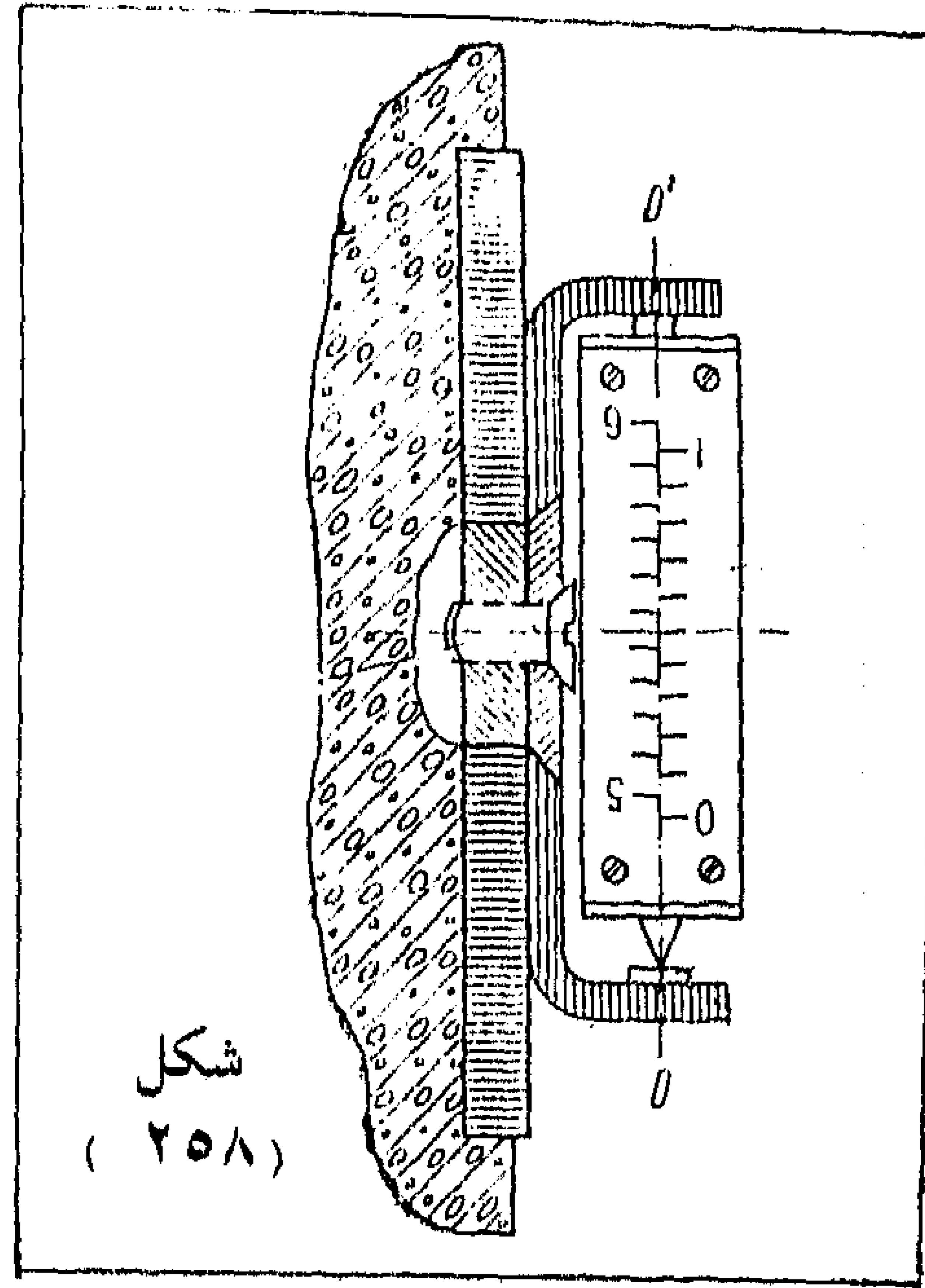
توضع علامات الهبوط على جوانب المنشأ المختلفة وفى الأماكن المنتظر أن يكون الهبوط فيها ملموساً . وهذه العلامات تتكون من مسامير سميكة ذات رؤوس مستديرة من الصلب أو علامات خاصة تثبت فى جدار كالمبينة فى


شكل (٢٥٦)

شكل (٢٥٧) . ويستحسن أن تكون من النوع الذى لا يصدأ وتكون هذه العلامات ظاهرة خارج المبنى . أو قد تكون العلامة عبارة عن جزء من زاوية توضع بميل ٦٠° كما فى شكل (٢٥٤) وفى بعض الأحيان تكون العلامة عبارة

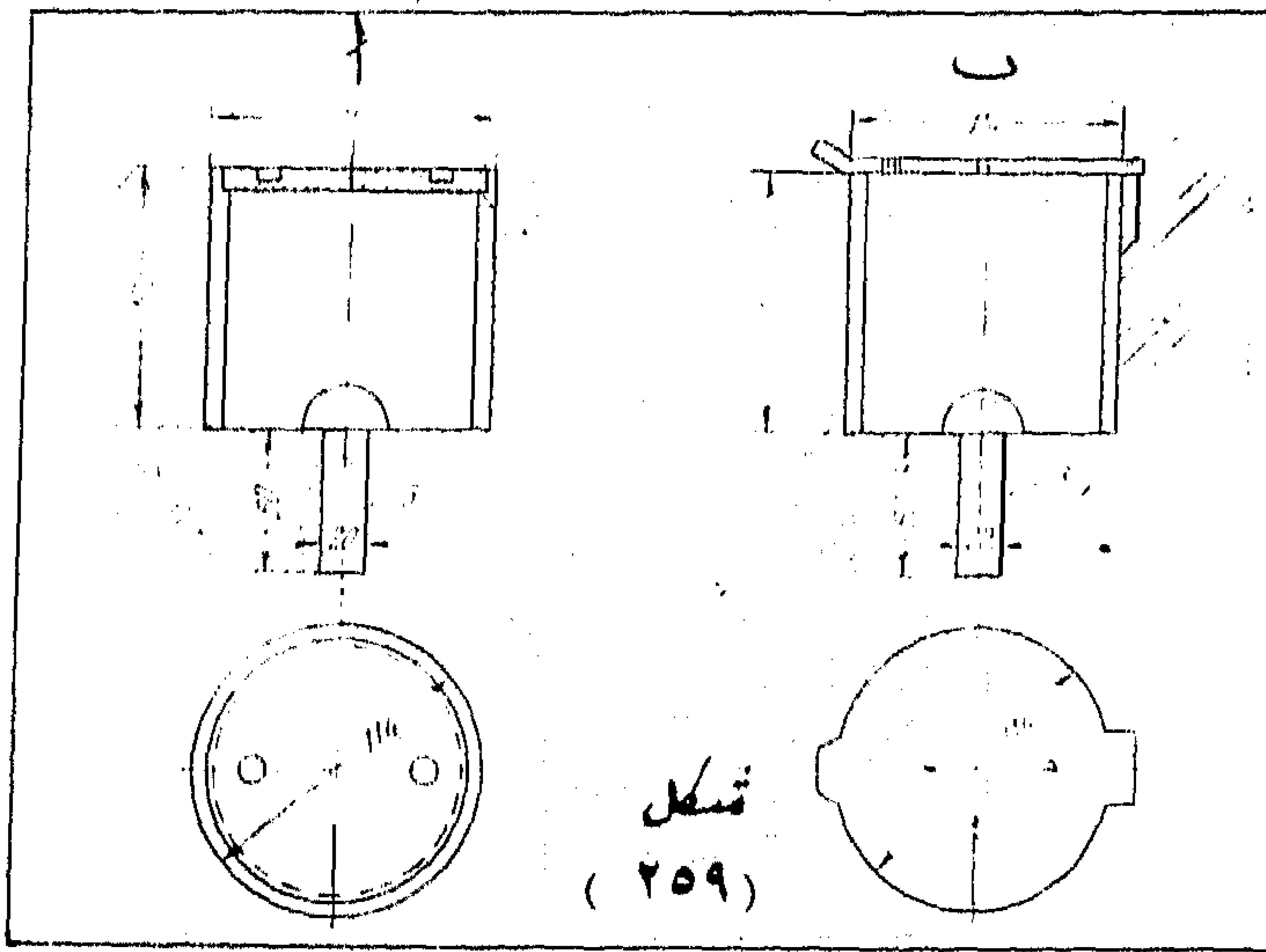

شكل (٢٥٧)

عن مسطرة مدرجة صغيرة مثبتة فى الجدار بطريقة خاصة كما هو موضح فى شكل (٢٥٨) .



شكل
(٢٥٨)

أما فى شكل (٢٥٩ ا ، ب) فيبين علامتين أرضيتين لهما غطاء يحفظهما ويمكن فتحه عند إستعمال العلامة .



شكل
(٢٥٩)

أما بالنسبة للقامات فتكون عادة عبارة عن مسطرة صغيرة مدرجة من الصلب أو النيكل طولها حوالى ١٥ ـــ ٢٠ سم وتقسم إلى ملليمترات وتعلق على العلامة ولزيادة الاحتياط تدرج من طرفيها الطوليين بتدريجين مختلفين فى البدايات كما فى شكل (٢٥٨) وتؤخذ القراءتان وتحسب فروق المناسيب لكل قراءة على حدة . وفى حالة توافق النتائج للناحيتين يكون دليل على أن العمل سليم .

وفى جميع أنواع الروبيرات السابقة يجب المحافظة عليها من الصدمات التى قد تغير مكانها أو تتسبب فى انحرافها عن مكانها الموضوعة فيه وذلك بوضع صندوق أو غطاء لا يرفعه إلا المهندس عند القياس .

أجهزة قياس الهبوط بالميزانية

لقياس الهبوط بالميزانية يمكن إستعمال الموازين التى تعطى ما تتطلبه ميزانية الدرجة الثالثة من دقة ويمكن تلخيص خواص هذه الموازين فيما يلى :

أن تكون قوة التكبير للجهاز من ٣٠ إلى ٣٥ مرة وتكون أقسام ميزان التسوية تعطى دقة من ١٢ ″ ـــ ١٣ ″ فى كل قسم مقداره ٢ مم وبهذا فيمكن استعمال موازين زايس Ni - 400 أو Koni - 007 أما Ni - 30 فيمكن استعماله مع قرص التوازى ، وكذلك من موازين شركة كيرن يمكن استعمال GK 23 .

أما بالنسبة للقامات فيمكن إستعمال القامات الدقيقة بأنواعها بأطوال متر أو أثنين أو ثلاثة ويجب أن تكون القامة مقسمة من الوجهين بتدريجين بداياتهما مختلفة أو قد يكون التدريجين من ناحية واحدة كما فى قامات الأنفار . وقد تستعمل قامات خاصة ذو تدريج ملليمترى وبأطوال حوالى ٣٠ سم وذلك لتعليقها عند نقط الهبوط كالمبينة فى شكل (٢٥٨) أو لوضعها بعد تركيبها على قاعدة ذات ثلاث مسامير على نقط الهبوط .

تنفيذ الميزانية

تنفذ الميزانية طبقاً لمواصفات الميزانية من الدرجة الثالثة . فمن الروبيرات الحكومية يبدأ تنفيذ الميزانية خلال مسارات تؤخذ فيها المسافة بين الجهاز والقامة على مسافات متساوية وقصيرة (٤ إلى ٣٠ متر) ويجب أن يؤخذ فى

الاعتبار أن يكون خط النظر بعيداً عن الأرض وبعيداً عن الحوائط بما لا يقل عن ٥٠ سم وذلك لتقليل تأثير الانكسار وتنفيذ الميزانية فى أى وقت نهاراً أو ليلاً وتمنع الميزانية فقط فى حالات الرياح والعواصف الشديدة أو الحرارة الشديدة والأمطار .

ويكرر مسار الميزانية مرتان ويجب ألا يزيد فرق النتيجتين عن ٣ مم وذلك فى المرة الأولى عند إيجاد مناسيب النقط مع إستعمال أحد الموازين العالية الدقة أما بعد ذلك ــ عند التكرار ــ فيجب أن تكون مسارات الميزانية مقفلة بمعنى أن يبدأ القياس عند روبير معروف وينتهى عند روبير آخر معروف .

أما فى حالة وجود روبير واحد فقط كمرجع فيجب أن تكون الميزانية مزدوجة أى من الروبير حتى النقط ثم العودة حتى الروبير مرة أخرى .

وبعد الأنتهاء من عمل الميزانية وعمل الحسابات الخاصة بها يجب أن تكون النتائج فى حدود المسموح به طبقاً لميزانية الدرجة الثالثة ــ والمسموح به هو :

الخطأ المسموح به (△) = ± ٢ √ن

..... (٢٠٩)

حيث ن = عدد وقفات الميزان فى المسار .

، △ = الخطأ بالملليمتر .

وعندما يكون الخطأ الناتج فى حدود المسموح به فيعمل ضبط للمناسيب المستنتجة طبقاً لنظرية أقل مجموعة للمربعات (راجع نظرية الأخطاء) وفى حالة الأعمال العادية الدقة يمكن إستعمال الطرق التقريبية لعمل ضبط للمناسيب المستنتجة وإستنتاج القيم الأكثر إحتمالاً لها .

توزيع علامات الهبوط على الكبارى

عند توزيع علامات الهبوط على أجزاء الكوبرى يجب الأخذ فى الاعتبار أن تبين نتائج القياس التفاصيل كاملة لما يحدث فى كل جزء من أجزاء الكوبرى .

ولذا فيجب دراسة أجزاء الكوبرى كل على حدة ويجب وضع ما لا يقل عن علامتين من علامات الهبوط على كل جزء من أجزائه فمثلاً على البلاطات وجوانبها ووسطها — ثم على الكمرات الحاملة ثم أخيراً على الدعامات .

ويراعى عند وضع الروبيرات أن لا يقل عددهم فى كل ناحية عن إثنين كما يجب أن يكون عدد مسارات الميزانية من الروبيرات حتى علامات الهبوط عدداً كافياً وحتى يمكن تلافى أخطاء الميزانية بقدر الإمكان مثل الخطأ الذى ينشأ من إختلاف أطوال خطوط النظر وغيره من الأخطاء .

ضبط الهبوط فى المبانى والمنشئات المدنية

تستعمل الميزانية الدقيقة بدرجاتها المختلفة (أولى وثانية وثالثة) فى ضبط الهبوط للمبانى والمنشآت المدنية . وقد تستعمل الميزانية الهيدروستاتيكية أو طريقة التصوير الأرضية أو أى طريقة أخرى تصل بنا إلى الدقة المطلوبة .

وتستعمل طريقة الميزانية الدقيقة فى الحالات التى يطلب فيها حساب مقدار الهبوط بدقة عالية جداً وذلك للمبانى الهامة والتى تقاس هبوطها كل ١ — ٣ شهور . ونحسب سرعة هبوط المبنى خصوصاً عند ظهور بعض الشروخ أو الميول . وكذلك يطلب رصد هبوط بعض المبانى بهذه الطريقة فى فترة الانشاء وما بعد الانشاء مباشرة . أما بعد ذلك فيكون الهبوط عادة بضع المليمترات فى السنة .

ودقة قياس الهبوط وطريقة القياس تحدد بواسطة المكتب الفنى القائم بالتصميم والذى يقوم أيضاً بمتابعة تحركات المبنى .

ومما يجدر ملاحظته طبقاً للمواصفات فإن صغر طول خط النظر لا يعطينا الدرجة الكافية من الدقة المطلوبة حيث يصل خط النظر إلى طول حوالى ٢٥ متراً وحيث توجد مصادر خارجية كثيرة للأخطاء من إنكسارات وإنعكاسات وغيرها . ويأخذ كل ذلك فى الاعتبار ونجد عند حساب الخطأ التربيعى المتوسط فى الكيلومتر أنه كبير وأكبر من الدقة المطلوبة والتى تصل إلى جزء من عشرة من المليمتر .

ولتلافى هذا الخطأ المنتظر الكبير القيمة فيجب الأخذ فى الاعتبار عند القياس الملاحظات الآتية :

١ ـــ أن تكون القراءة على قامة دقيقة من الأنفار أو قامة صغيرة على شكل مسطرة مقسمة إلى ملليمترات وتكون من مادة الأنفار أيضاً ويستعمل مع الميزان جهاز قراءة كسور القامة .

٢ ـــ أن تركب العلامات فى المبنى بحيث أن تكون ثابتة ومحمية (وقد سبق شرح العلامات) وبقدر الإمكان تكون كلها على مستوى واحد حتى تكون قراءات القامة فى حدود تقسيمات معينة حتى يتلاشى بقدر الامكان خطأ تقسيم القامة .

٣ ـــ أن يكون حول المبنى على الأقل روبيرين عميقين ويستحسن أن يكونوا ثلاثة وذلك لربط مسارات الميزانية بهذه الروبيرات .

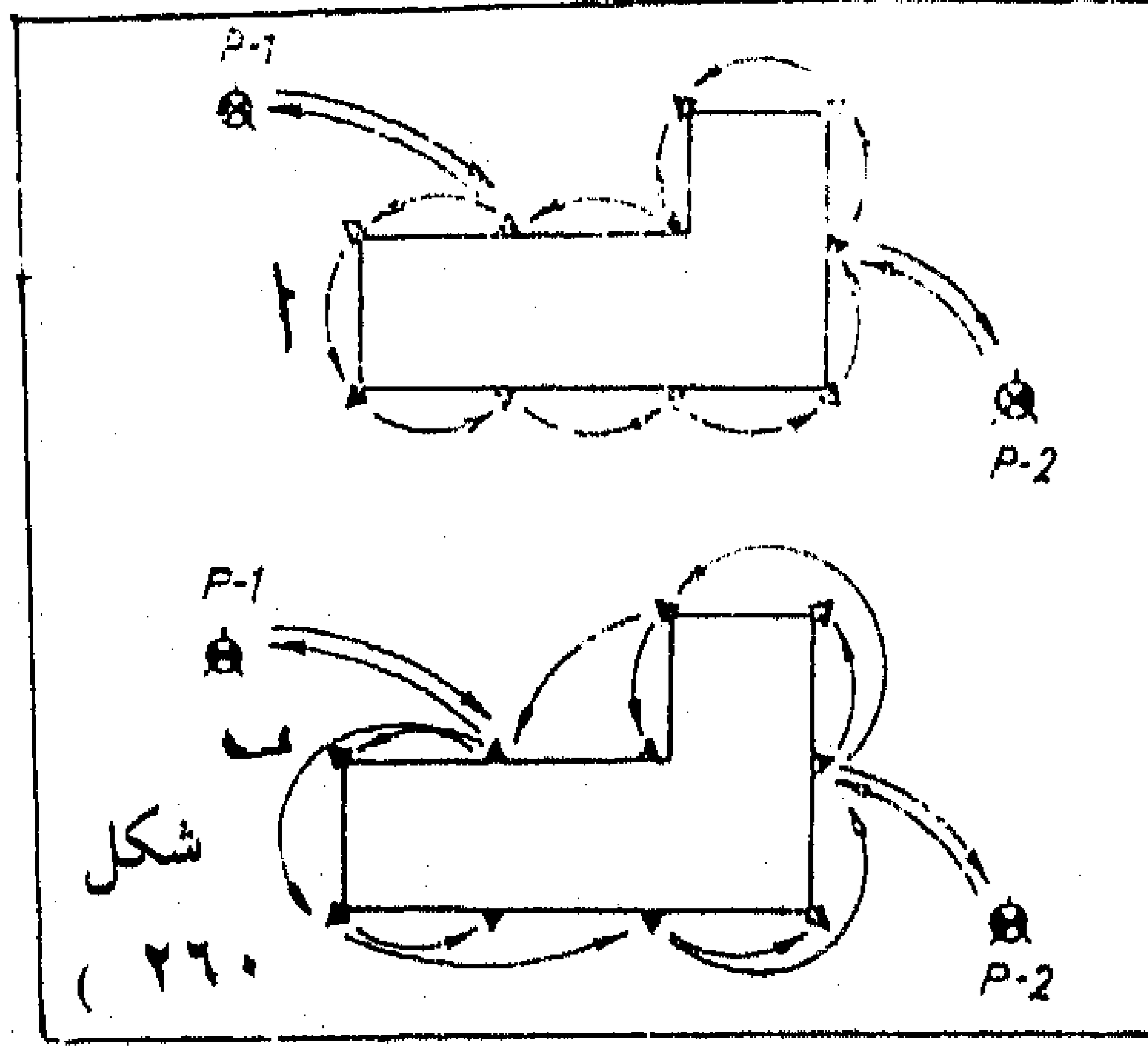
٤ ـــ أطوال خط النظر تكون متساوية وتكون فى الحدود من ٣ إلى ٢٥ متر وفى المتوسط من ١٠ إلى ١٥ متر .

٥ ـــ أن تؤخذ القراءة عدة مرات وتؤخذ القراءة المتوسطة .

٦ ـــ يضبط الجهاز ضبطاً دائماً قبل عمل الميزانية .

٧ ـــ تعمل الميزانية فى مسار مقفل أو تعمل مرتان بجهازين مختلفين ويجب ألا يزيد الفرق بين النتيجتين عن (± ٠,٣ √ه مم) حيث ه عدد الوقفات .

فى شكل (٢٦٠) مبين مسار ميزانية بين علامات الهبوط على أحد المنشآت . ففى الشكل الأول (أ) مبين أنه قد أخذت الميزانية بين النقط على عشر وقفات للميزان وبذا فيكون الخطأ المحتمل من نتائج الميزانية بهذه الطريقة أكبر بمقدار √٢ مرة قيمة الخطأ المحتمل من نتائج الميزانية التى تؤخذ كما فى الشكل (ب) حيث عملت نفس الميزانية ولكن استعملت خمس وقفات فقط .



شكل (٢٦٠)

وفى حالة ضياع إحدى علامات الهبوط ــ يجب وضع علامة أخرى بدلاً منها وفى نفس مكانها وترقيمها بنفس ترقيم العلامة الضائعة مع إضافة حرف (ح) أو (N) بمعنى علامة بنفس الرقم ولكن جديدة وعمل ضبط لمنسوبها الجديد ثم ربط كل النتائج السابق أخذها لهذه العلامة مع القيم الجديدة .

أما إذا طلب تكثيف عدد العلامات فتوضع العلامات الجديدة بين العلامات القديمة ويحسب قيم الهبوط السابقة للعلامات الجديدة بواسطة النسبة والتناسب لبعد العلامة الجديدة عن العلامات القديمة .

وبعد عمل الميزانية يجب عمل ضبط للقيم الناتجة بطريقة أقل مجموع للمربعات وذلك إذا كان الخطأ الناتج فى حدود المسموح به ويجب تقييم النتائج التى تم الحصول عليها بإيجاد الأخطاء التربيعية فى كل مرة قياس .

وللحصول على الدقة المطلوبة يجب ألا يزيد الخطأ المسموح به عن القيمة الآتية :

الخطأ المسموح به $\leq \pm ٢\sigma\sqrt{٢\text{د}}$ ...... (٢١٠)

حيث :

σ ــ الخطأ التربيعى المتوسط للوقفة الواحدة (للميزانية من الدرجة الأولى = ± ٠,١٢ مم وللميزانية من الدرجة الثانية = ± ٠,٤٣ مم) .

ه ــ عدد محطات وقوف الميزان فى المسار بين الروبير والآخر .

الطرق المساحية لقياس التحركات الأفقية للمنشآت المدنية

فيما يلى سنشرح طرق قياس التحرك الأفقى للمنشآت المدنية مثل الخزانات والسدود سواء كانت خرسانية أو ركامية وطرق قياس التحرك الأفقى كثيرة ومختلفة ولكل طريقة خصائصها ومميزاتها ودقتها . ويمكن تقسيم هذه الطرق كالآتى :

١ ــ طريقة قياس التزحزح عن الخط الثابت .
٢ ــ طريقة الترافرسات .
٣ ــ طريقة المثلثات .
٤ ــ طريقة قياس التزحزح أو الميل بتثبيت ثقل رأسى حر الحركة أو عوامات رأسية مثبتة فى أساس المنشأ .
٥ ــ الطرق المشتركة للقياس (وذلك بإستخدام طريقتين أو أكثر) .

وفى جميع هذه الطرق تقاس التحركات بالنسبة إلى بعض النقط الثابتة التى تعتبر كمرجع ثابت ينسب إليها تحركات النقط الأخرى . وهذه النقط الثابتة عادة تكون نقط مثلثات يكون موضعها خارج نطاق تأثير القوى فى المنطقة .

ويمر قياس التحرك الأفقى حتى الحصول على النتائج النهائية بأربع مراحل :

المرحلة الأولى نبدأ بوضع برنامج للعمل وإختيار الطريقة المناسبة ثم وضع النقط على المنشأ وتحديد مواعيد القياس الدورية . أما المرحلة الثانية فهى مرحلة القياس وفيها يتم تنفيذ البرنامج الموضوع فى المرحلة الأولى فيتم قياس التحركات بعد التأكد من ضبط وصلاحية الأجهزة .

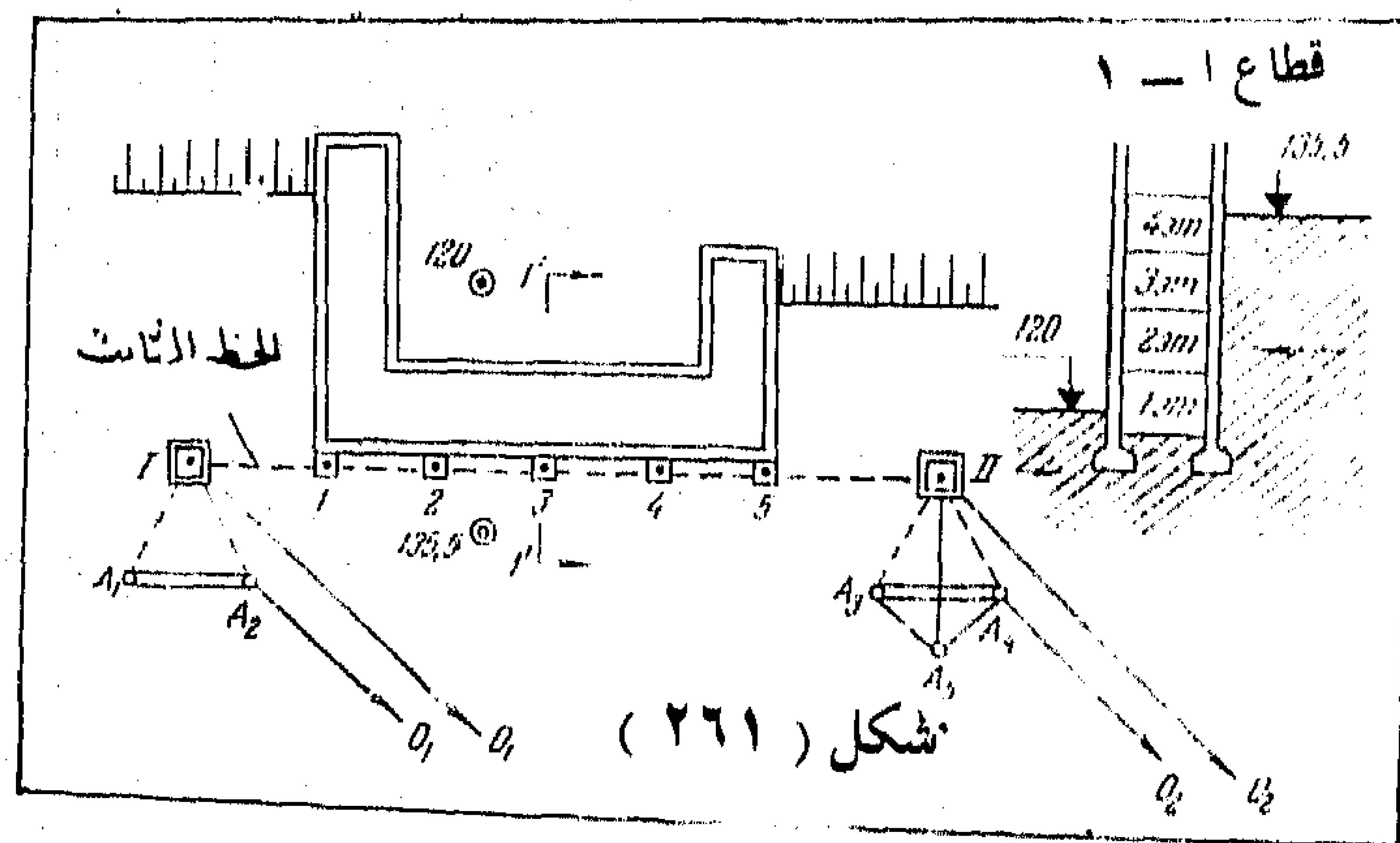
أما المرحلة الثالثة فهى لضبط النتائج المقاسة فى المرحلة الثانية وعمل تقدير لدقتها وإستنتاج مقادير التحركات لكل فترة .

أما المرحلة الرابعة والأخيرة فهى لوضع الرسوم البيانية لنتائج التحركات والتى تبين مقاديرها وإتجاهاتها ومواعيد أخذ القراءات .

١ ـ طريقة قياس التزحزح عن الخط الثابت

(The Allignment Method)

وتتلخص هذه الطريقة فى وضع بعض نقط فى الجزء المراد تحديد مقدار تحركاته الأفقية على خط مستقيم مع الأخذ فى الاعتبار أن تكون مجموعة النقط واقعة بين نقطتين مثبتتين فى مكان غير قابل للتحرك والخط الواصل بين هاتين النقطتين الثابتتين يعتبر كمرجع ثابت لتحرك النقط الأخرى كما هو مبين فى شكل (٢٦١) والذى يبين منشأ معرض لضغوط جانبية تعرضه للحركة الأفقية لذلك وضعت العلامات ١ ـ ٢ ـ ٣ ـ ٤ ـ ٥ على جداره وعلى الخط الثابت الواصل بين النقطتين I ، II .



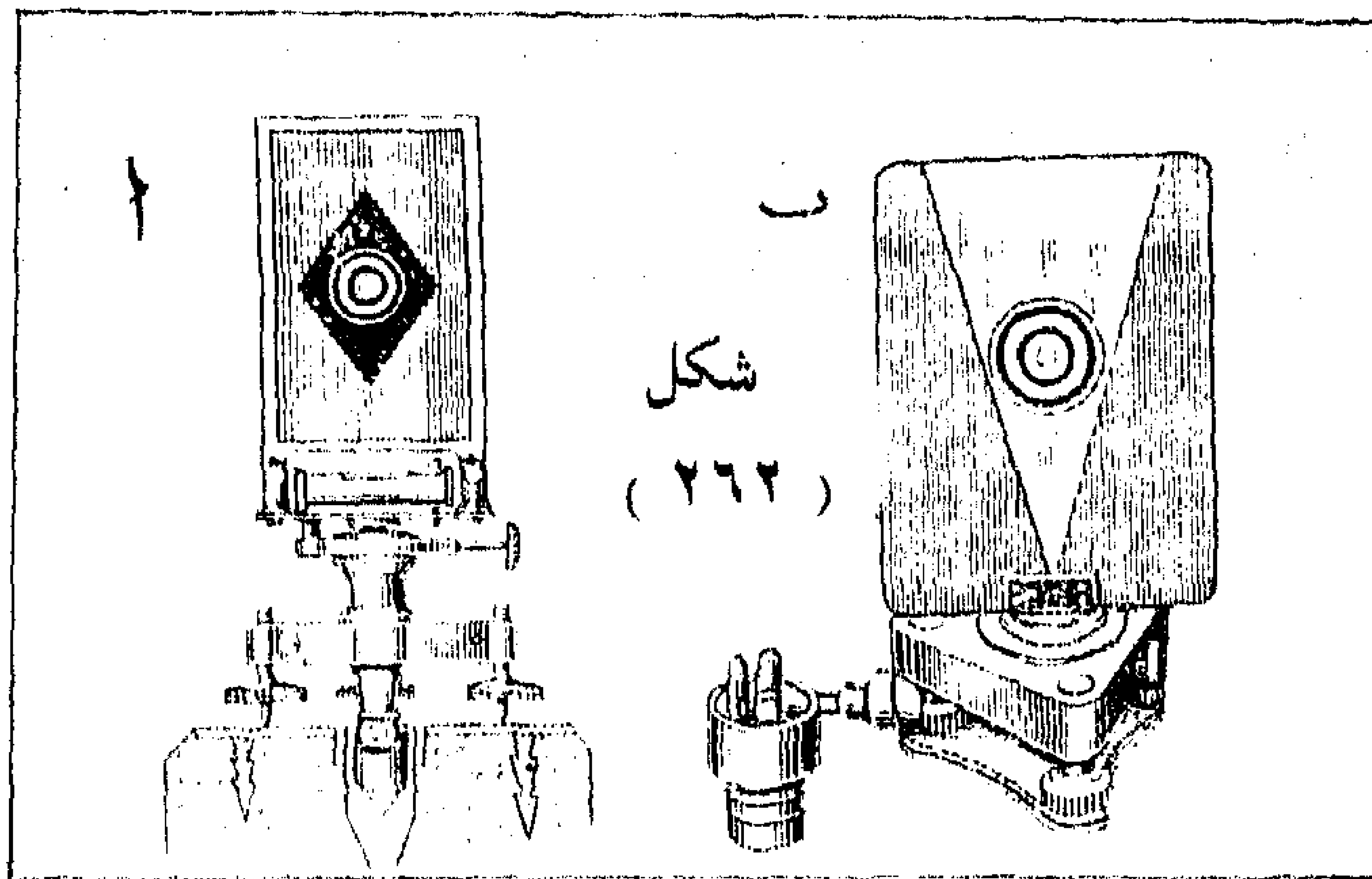
شكل (٢٦١)

وعند القياس تقدر مسافة تحرك النقط المتوسطة العمودية على الخط الواصل بين النقطتين الثابتتين بواسطة ميكرومتر لأقرب جزء عشرى من المللميتر . لإجراء ذلك يوضع تيودوليت على إحدى النقطتين الثابتتين ولتكن I ويسامت ثم يوجه إلى العلامة الثابتة الموجودة على النقطة الثابتة الأخرى II ثم توضع علامات متحركة مثبت بها ميكرومتر لقياس مقدار التحرك على كل نقطة من النقط المتوسطة ١ ـ ٢ ـ ٣ ـ ٤ ـ ٥ فإذا وقعت العلامة المتحركة على خط نظر التيودوليت كان ذلك دلالة على عدم تحرك هذه النقطة أما إذا لم تقع

العلامة على الخط فيجب تحريك العلامة بواسطة الميكرومتر حتى تقطع خط النظر وتحدد المسافة التى تحركتها النقطة . ولزيادة الدقة يكرر القياس عدة مرات ويؤخذ المتوسط .

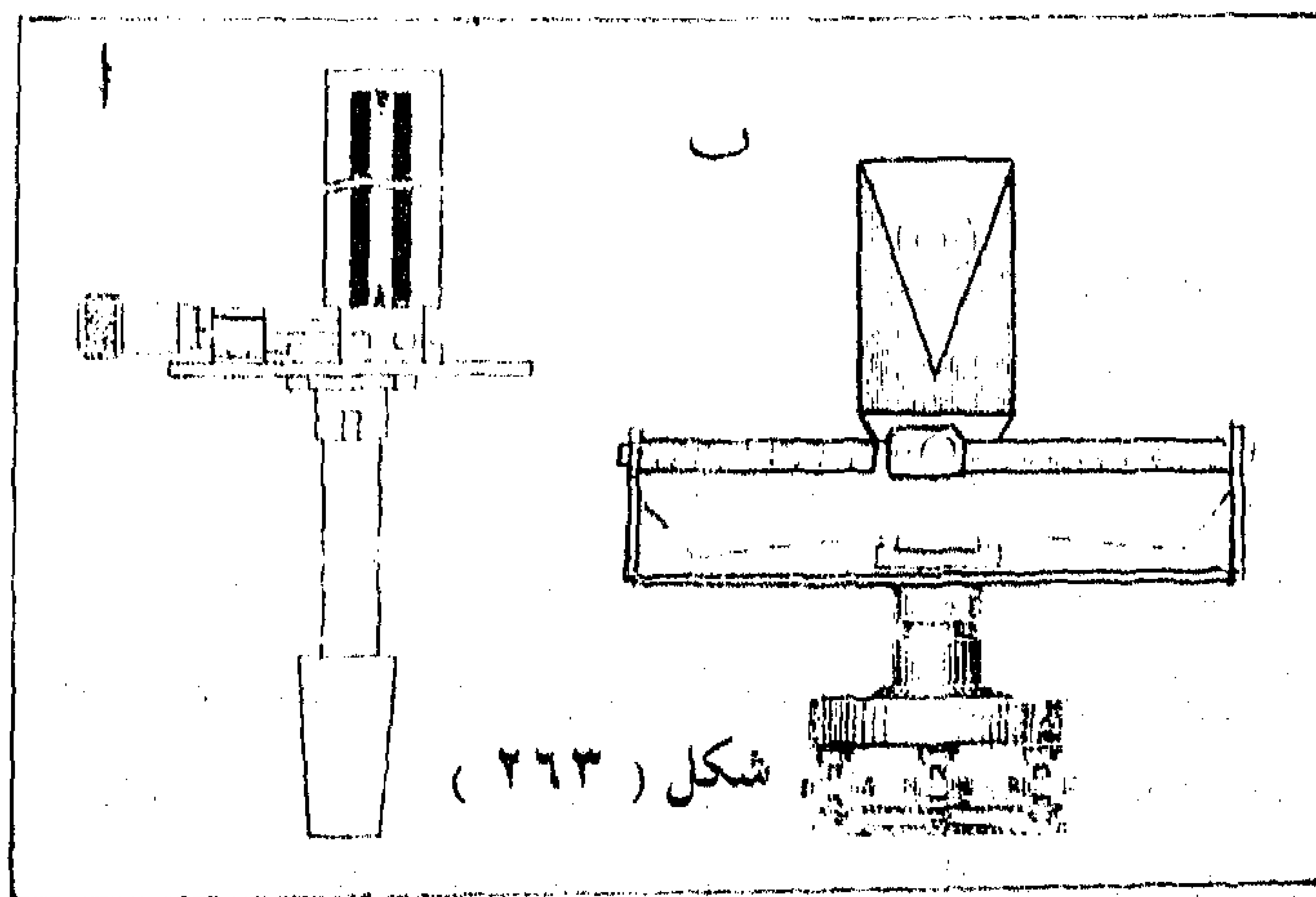
ويلاحظ فى الشكل أنه قد أخذت نقط ثابتة أخرى مثل A_1 ، A_2 ، A_3 ، A_4 ، A_5 والغرض من ذلك هو التأكد فى كل مرة من أن رصد النقط الثابتة الواقعة على خط الرصد I ، II لم تغير من أماكنها .

وهناك أنواع عديدة من العلامات الثابتة ومثالها موضح فى شكل (٢٦٢)



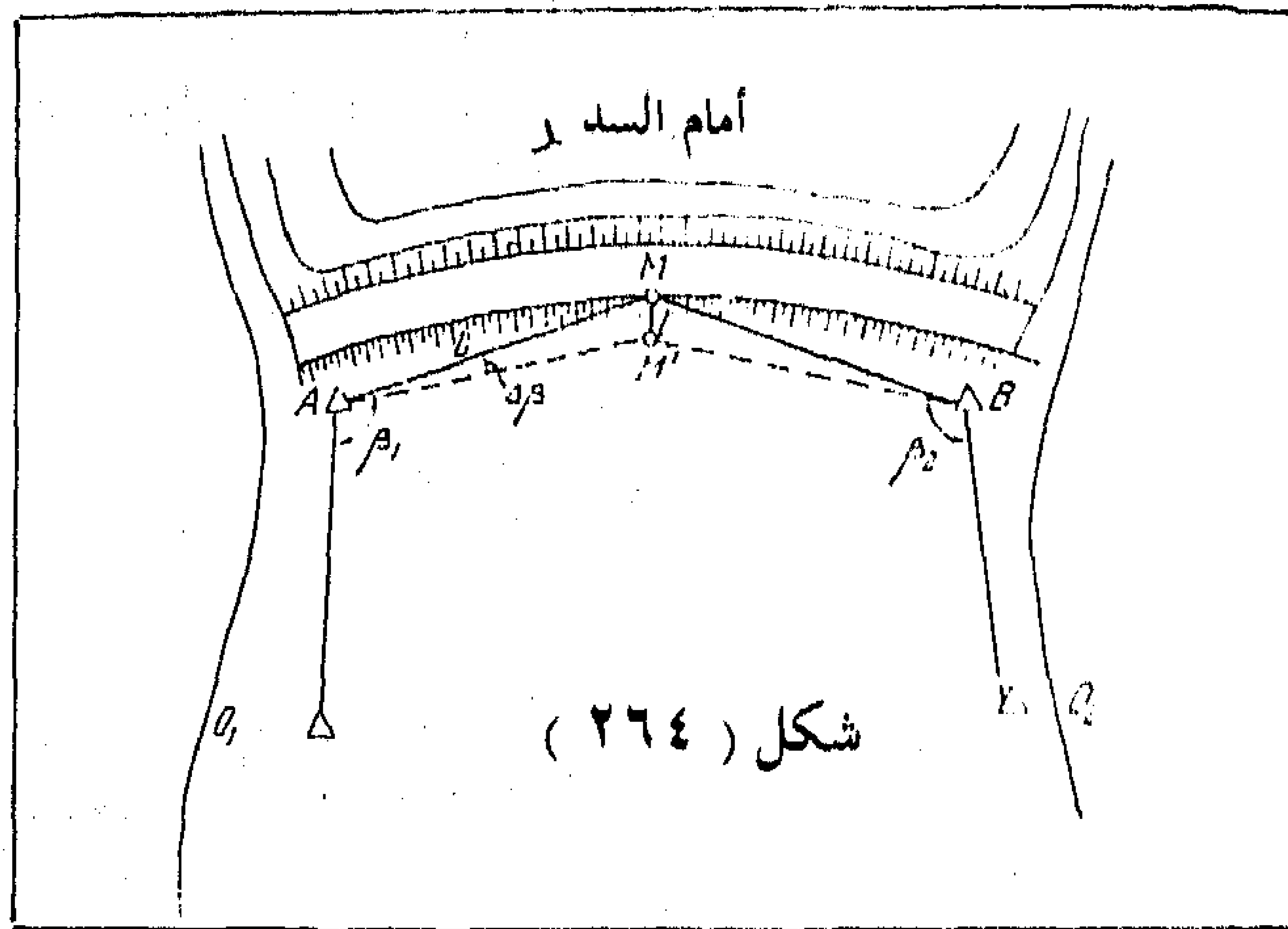
شكل (٢٦٢)

أما فى الشكل (٢٦٣) فقد بينا نوعين من العلامات المتحركة التى تستعمل لرصد التحركات الأفقية ويلاحظ أنه مثبت بكل منهما ميكرومتر .



شكل (٢٦٣)

وفى بعض الأحيان عندما يكون التحرك الأفقى كبيراً نسبياً (أى أكثر) من ٣ ــ ٥ سم وذلك فى بعض المنشآت مثل السدود فيكون القياس خارج حدود العلامات المتحركة ولذا فتقاس دوريا الزاويتين β_1 ، β_2 من الخطين الثابتين A O_1 ، B O_2 وذلك بوضع تيودوليتين فوق نقطتى A ، B شكل (٢٦٤) .



شكل (٢٦٤)

هاتان الزاويتان تعبران عن مقدار التزحزح الأفقى لنقطة M كما هو موضح فى الشكل . وبمعلومية التغير فى الزوايا β_1 ، β_2 أى الزاويتان $\Delta\beta_1$ ، $\Delta\beta_2$ الصغيرتان والبعد عن النقطة الثابتة A وحتى النقطة المتحركة M يمكن حساب التزحزح الأفقى من المعادلة الآتية :

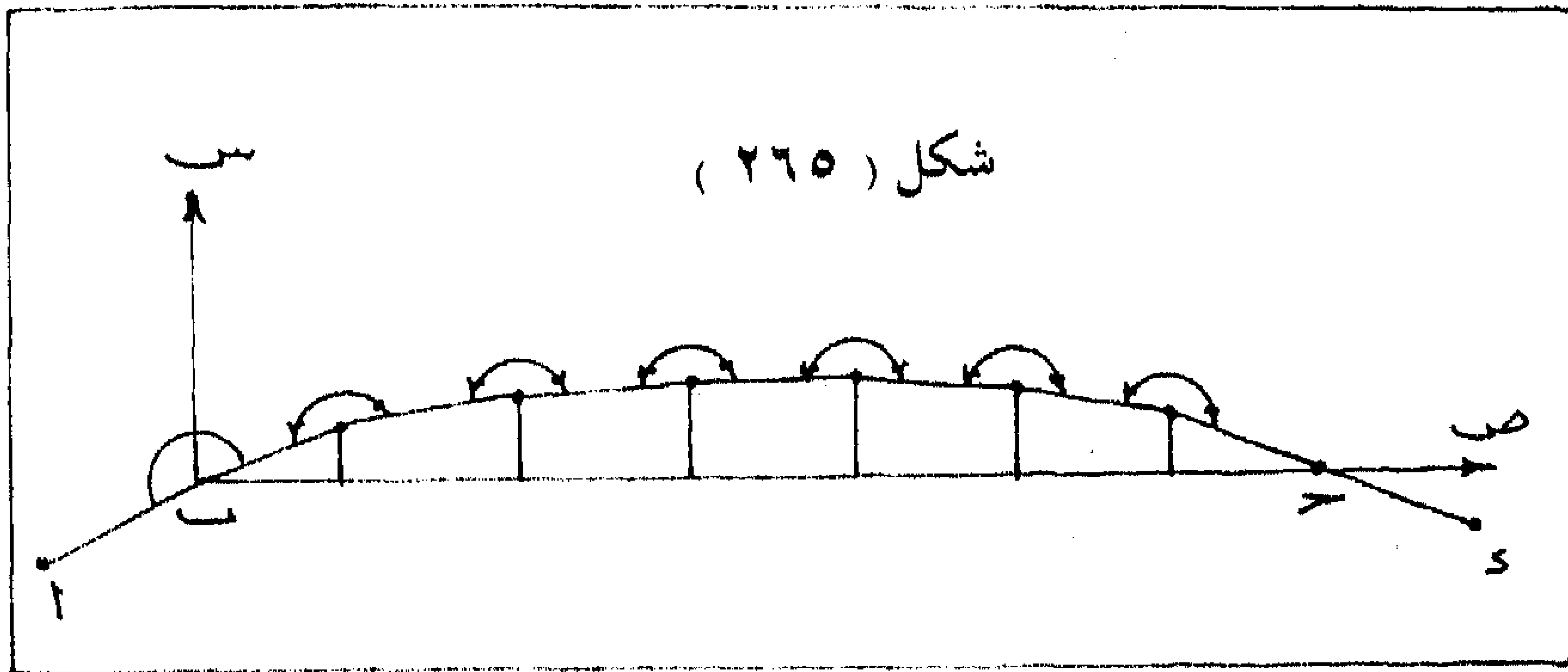
$$\text{مقدار التزحزح} = \frac{\Delta'' \cdot \text{ل}}{\rho''} \qquad \text{..... (٢١١)}$$

حيث ل ــ المسافة بين نقطة التيودوليت والنقطة المتحركة .

٢ ـ طريقة قياس التزحزح بالترافرس

(Traverse Method)

وتتلخص هذه الطريقة فى عمل ترافرس يربط بين النقط المطلوب معرفة مقدار تحركها ويربط هذا الترافرس بخطى قاعدة : الأول فى بدايته والآخر فى نهايته ثم تقاس الزوايا وأطوال الأضلاع فى كل فترة وتحسب إحداثيات النقط فى وضعها الجديد وبحساب فرق الإحداثيات عن الإحداثيات المبدئية يمكن معرفة مقدار وإتجاه التحرك . وفى شكل (٢٦٥) موضح كيفية القياس بهذه الطريقة .



شكل (٢٦٥)

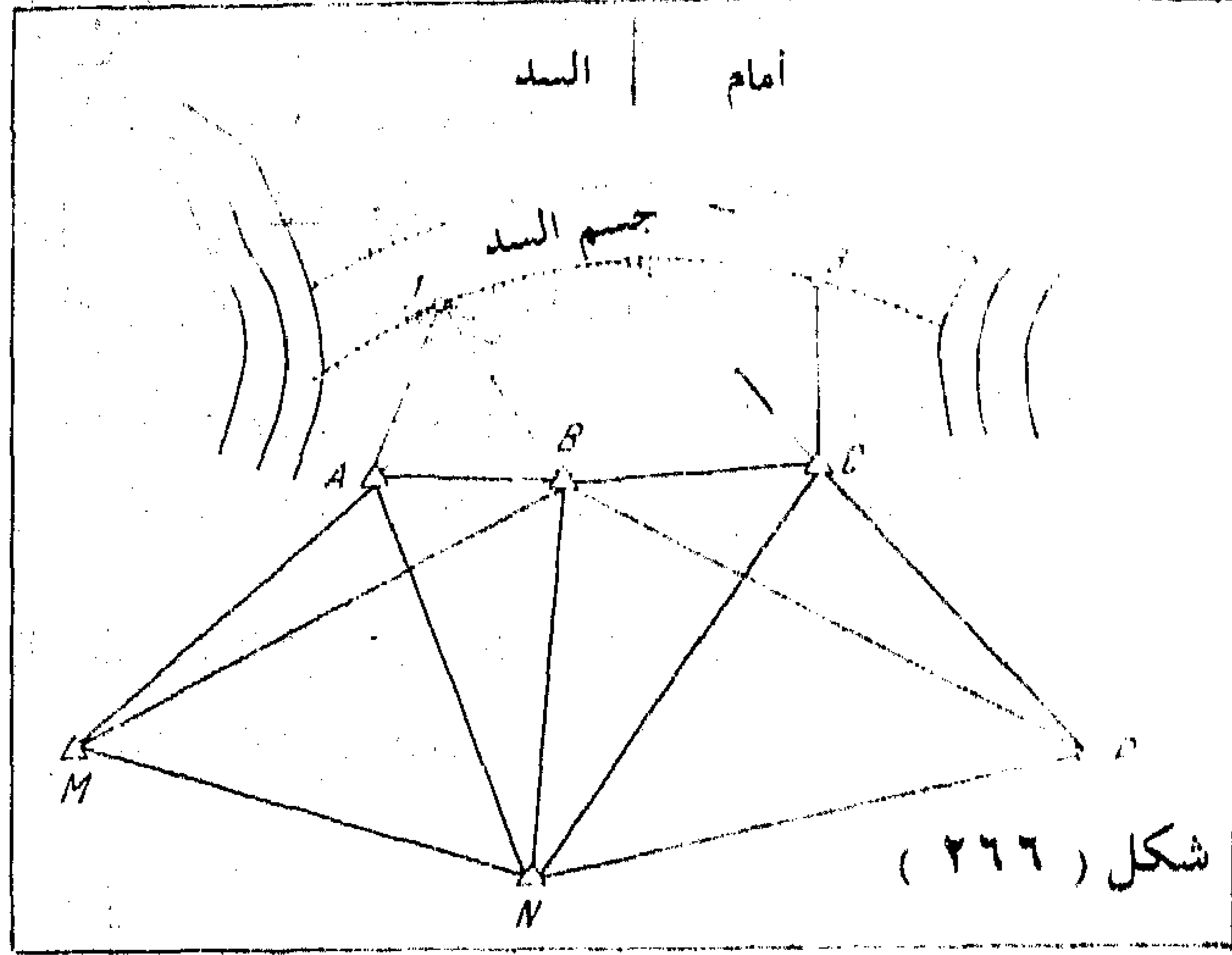
ومما هو جدير بالذكر أن هذه الطريقة تستعمل فى ضبط تحرك جسم السد العالى وذلك بعمل ثلاث ترافرسات طولية تمر بجسم السد العالى خلال ثلاث أنفاق طولية (Gallaries) تسمى بأنفاق التفتيش وتبعد كل نقطة عن الأخرى بحوالى أربعون متراً ويوجد فى كل نفق طولى حوالى عشرون نقطة ترافرس . وأما خطوط القاعدة لهذه الترافرسات فموجودة على طرفى الأنفاق الطولية على الصخور الجانبية لمداخلها .

٣ ـ طريقة المثلثات

(Triangulation Method)

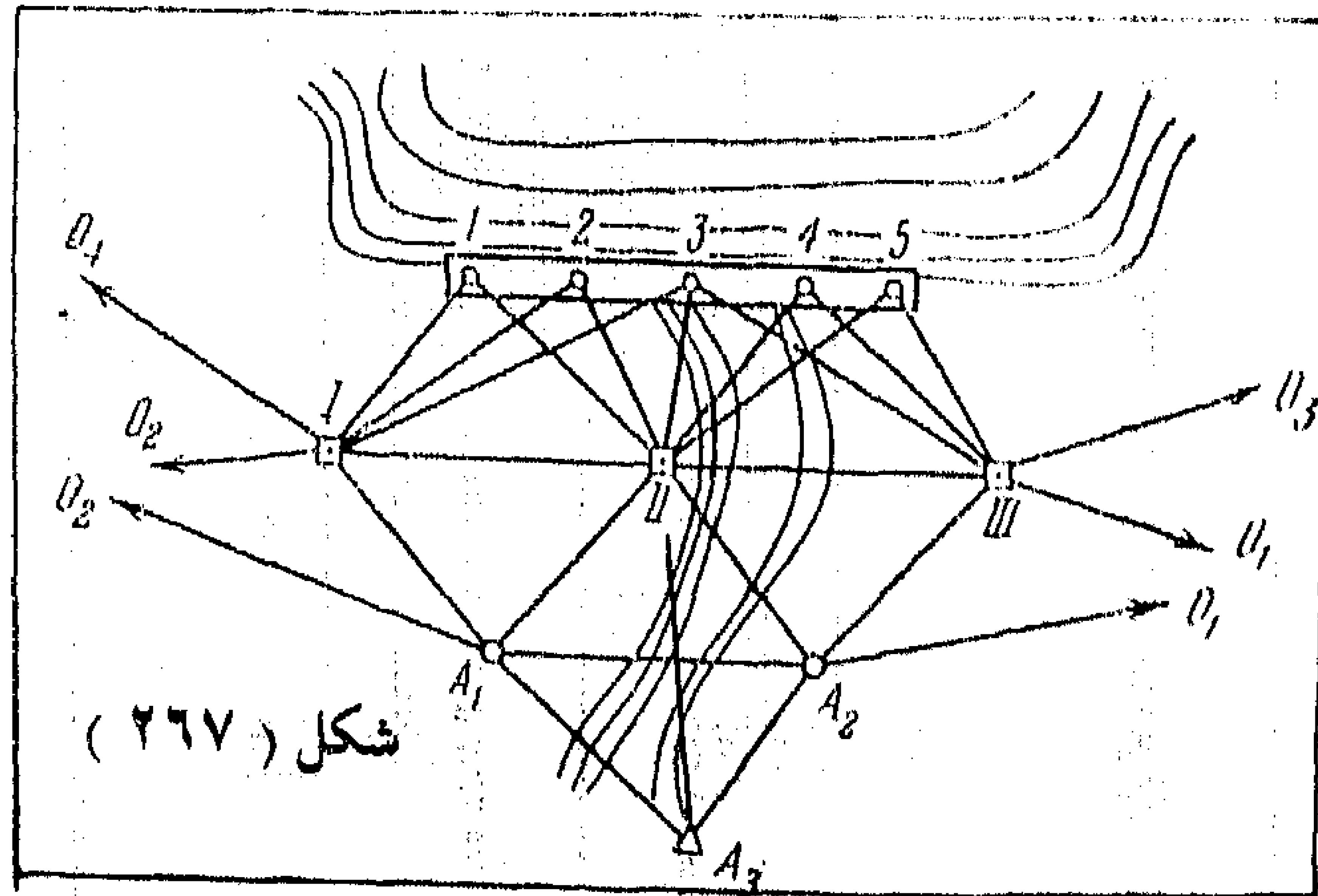
عندما يصعب القياس بإستخدام طرق قياس التزحزح عن الخط الثابت والسابق شرحها وخاصة عند قياس تحرك السدود والخزانات الدائرية والمنحنية فتستعمل فى هذه الحالة طريقة المثلثات .

وتتلخص هذه الطريقة فى تثبيت نقط على جسم السد ثم تربط هذه النقط بشبكة مثلثات المنطقة وتحسب إحداثيات النقط الموجودة على جسم السد فى فترات زمنية متوالية ويحسب منها مقدار التزحزح . وفى شكل (٢٦٦) موضح



شكل (٢٦٦)

مثال لشبكة مثلثات مختارة لحساب التحرك الأفقى فى جسم سد . وفى شكل (٢٦٧) موضح مثال آخر حيث النقط المطلوب حساب تحركها على جسم السد هى ١ ــ ٢ ــ ٣ ــ ٤ ــ ٥ ونقط الشبكة الثابتة هى I ، II ، III ، A_1 ، A_2 ، A_3 .

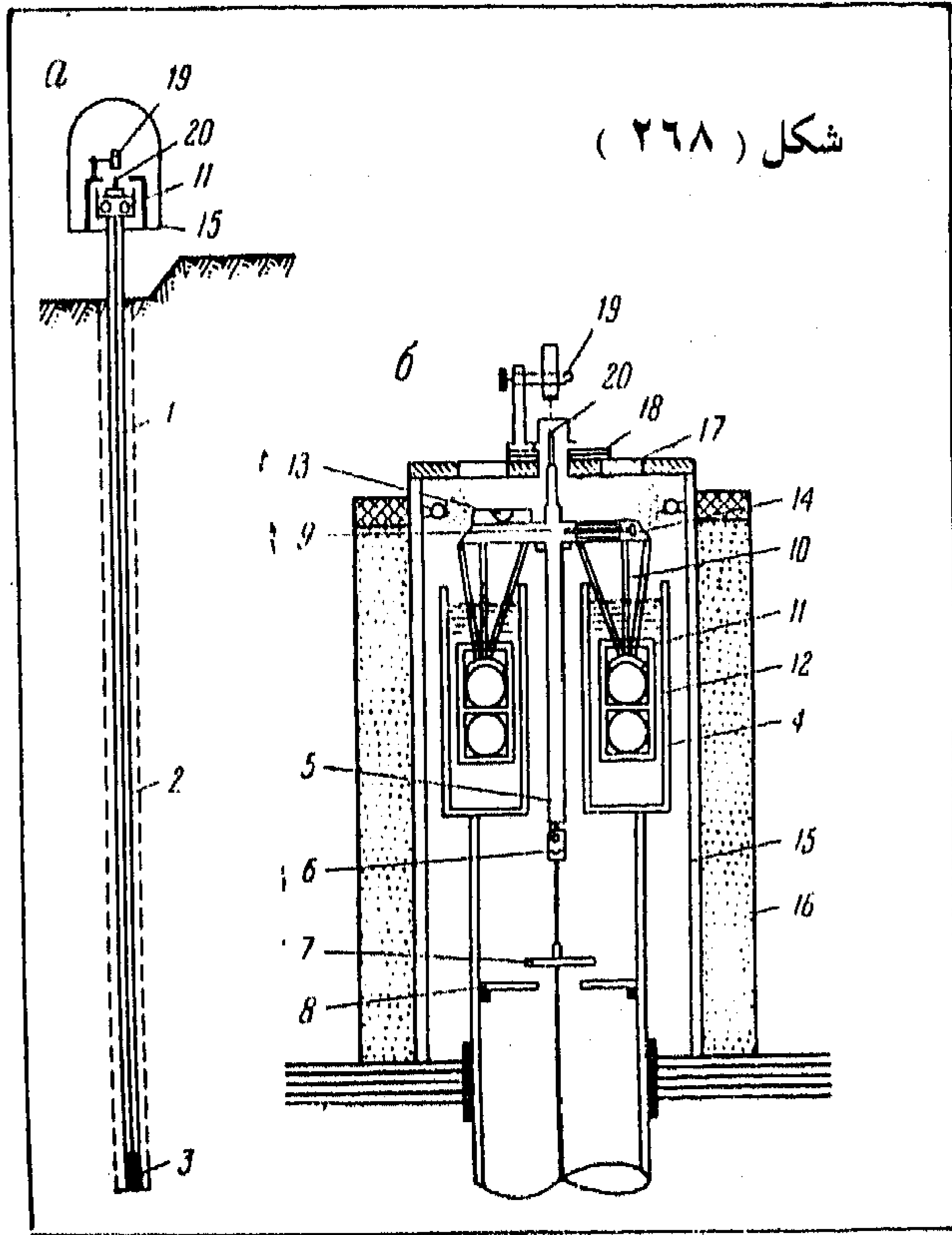


شكل (٢٦٧)

٤ ــ طريقة القياس بتثبيت ثقل رأسى أو عوامة

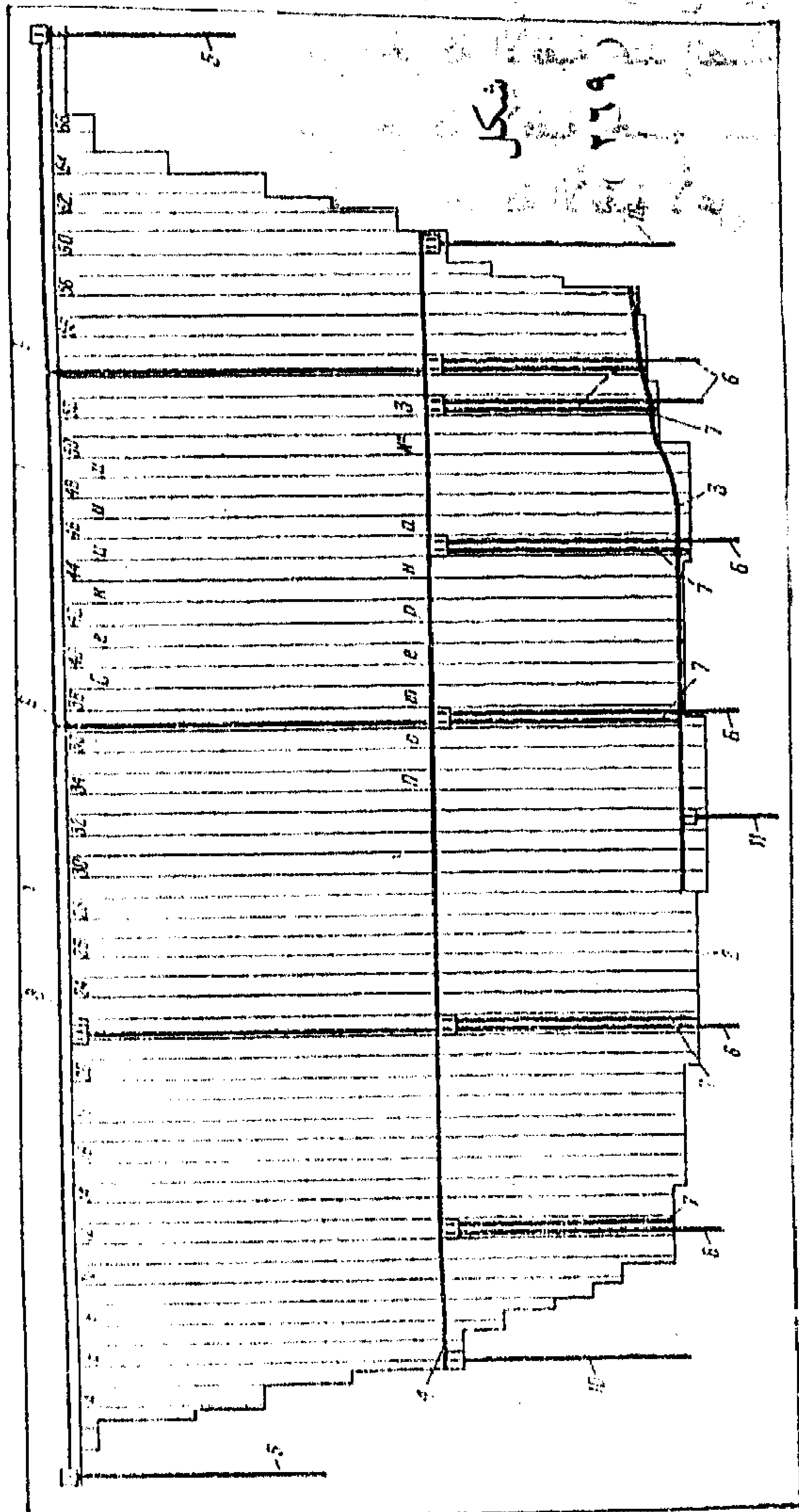
وفى هذه الطريقة يثبت سلك فى قاعدة أو فى أساس المنشأ المراد قياس قيمة ميله (جسم سد مثلاً) وتترك نهايته العليا حرة الحركة ليصبح السلك رأسياً دائماً فى جميع الأوضاع وذلك بوضع عوامات فى نهاية السلك العلوية تعوم فى حوض به مادة سائلة ويثبت الحوض فى جسم السد العلوى وعلى ذلك فعند حدوث ميل لجسم السد فيميل الجسم وكذلك الحوض أما السلك فهو حر الحركة ويظل رأسياً وبين الحوض والعوامة توجد مسطرة مدرجة تدريجاً دقيقاً بورنية ومثبتة بالحوض ويمكن بواسطة هذا المقياس معرفة مقدار ميل جسم السد التى تساوى مقدار إنحراف العوامة عن مكانها الأصلى .

وفى الشكل (٢٦٨) مبين قطاعاً فى منشأ مثبتاً فيه السلك ذو العوامات كذلك مبين تكبير للجزء العالم منه .



شكل (٢٦٨)

هذا وقد يستخدم أكثر من سلك واحد ذو عوامات للمنشأ الواحد وذلك لقياس الزحزحة الأفقية للمنشآت الكبيرة كالسدود . وفى شكل (٢٦٩) موضح قطاعاً عرضياً فى سد كراسناپارسك بسيبيريا بالاتحاد السوفيتى موضحاً به أماكن وضع السلك ذو العوامة والذى وضع على مناسيب مختلفة من جسم السد عند ٥ مثلاً لقياس الحركة الأفقية عند إتصاله بالجانب الجبلى للمجرى النهرى ، وعند ٦ لقياس الحركة الأفقية لجسم السد على عمق ١٠ أمتار من سطح الطريق فوقه ، ٩ لقياس الحركة الأفقية لأعلى نقطة فى منتصف جسم السد .


شكل ٢٦٩

الباب الخامس والعشرون
رأسية المنشآت وتطبيقات أخرى

من الأعمال الهامة فى الهندسة المدنية ضبط رأسية المنشآت عند التنفيذ خاصة المنشآت السابقة التجهيز الخرسانية والمنشآت المعدنية ، كذلك نقل المحاور للمنشآت من سطح الأرض إلى الأدوار العليا فى المنشآت ونقل المناسيب أيضاً إلى الأدوار العليا وحساب الميل الحادث فى المنشآت العالية وغيرها من الأعمال التطبيقية الهامة . وفى هذا الباب سوف نعطى شرحاً وافياً لطريقة تنفيذ هذه العمليات الهامة بأدق الطرق .

أولاً ــ ضبط رأسية المنشآت

تثبيت الأعمدة رأسياً :

لتثبيت عمود خرسانى سابق التجهيز رأسياً على القاعدة الخاصة به تجرى الخطوات الآتية :

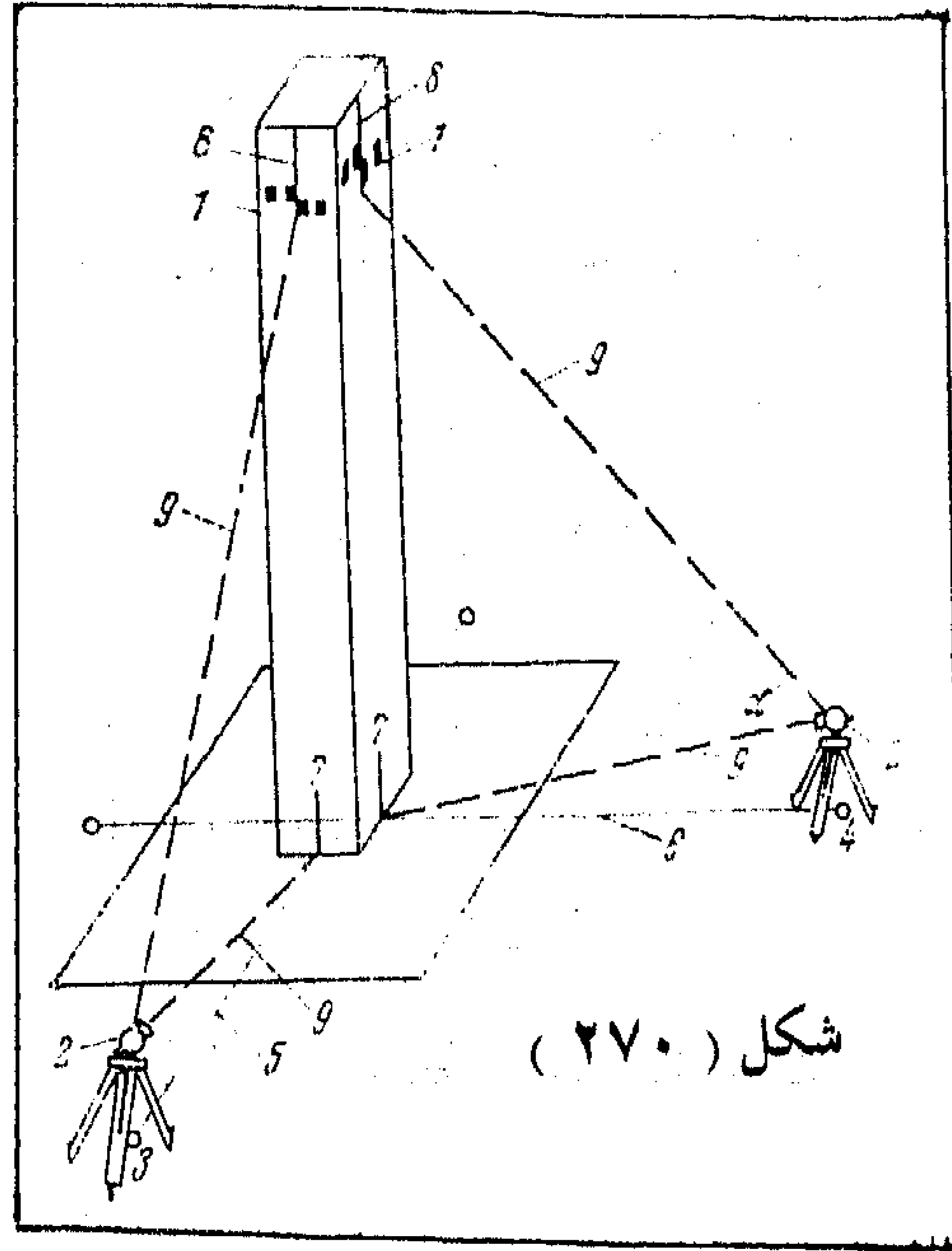
١ ــ يحدد محورا هذه القاعدة (٥) ، (٦) وذلك بعمل (خنزيرة) لها كما هو موضح فى شكل (٢٧٠) وفى نفس الوقت تعمل فى واجهات العمود عند كل من قاعدته ونهايته علامات تحدد أيضاً محاوره .

٢ ــ يثبت العمود فى القاعدة بحيث تكون محاوره (٧) ، (٧) منطبقة على محاور القاعدة .

٣ ــ يوضع تيودوليتان (٢) على إمتداد محاور القاعدة فى النقطتين (٣) ، (٤) وترصد العلامات المحددة لمحور العمود (٧) ، (٧) .

٤ ــ يرفع خطا النظر للتيودوليتين حتى نهاية العمود ويحرك العمود فى الاتجاهين حتى نرصد بالشعرات الرأسية العلامات المحددة لنهاية العمود ٣ ــ ٣ .

٥ ــ يعاد العمل بالرصد والتيودوليت فى الوضع متياسر فإذا لم تنطبق الشعرة الرأسية على العلامة (٣) تحرك قمة العمود بمقدار نصف الزحزحة .



شكل (٢٧٠)

تثبيت مجموعة من الأعمدة رأسياً على صف واحد :

لتثبيت مجموعة من الأعمدة الخرسانية السابقة التجهيز أو لتثبيت مجموعة من الأعمدة المعدنية تجرى الخطوات الآتية :

١ ــ يحدد محور الأعمدة ا ــ ب كما فى شكل (٢٧١) .

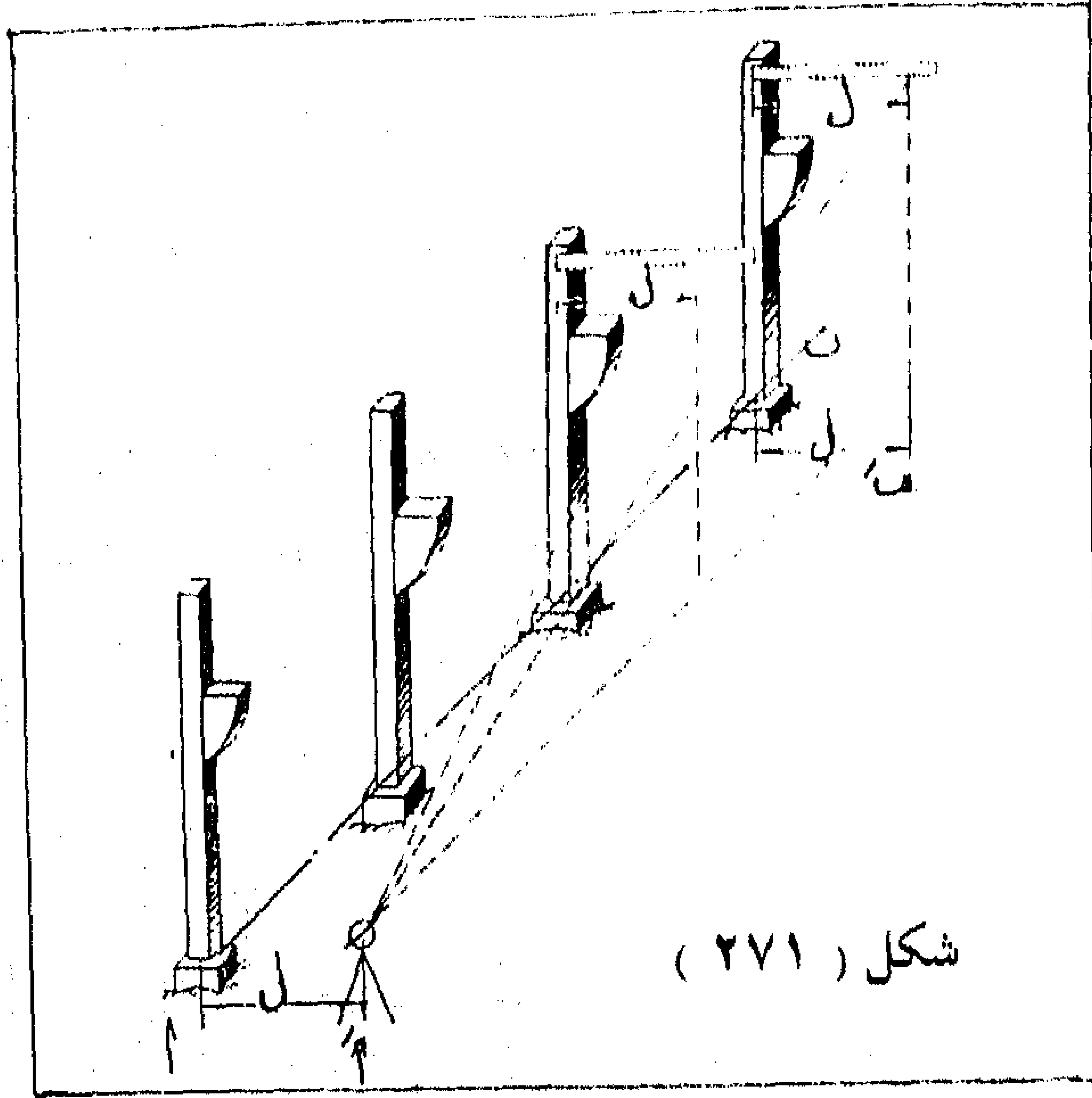
٢ ــ يثبت تيودوليت عند نقطة ا′ تبعد عن ا مسافة قدرها (ل) .

٣ ــ توضع الأعمدة على قواعدها بحيث تكون محاورها منطبقة على محاور القواعد .

٤ ــ تثبت علامة أرضية ب تبعد عن آخر عمود فى المجموعة بمسافة ل أيضاً .

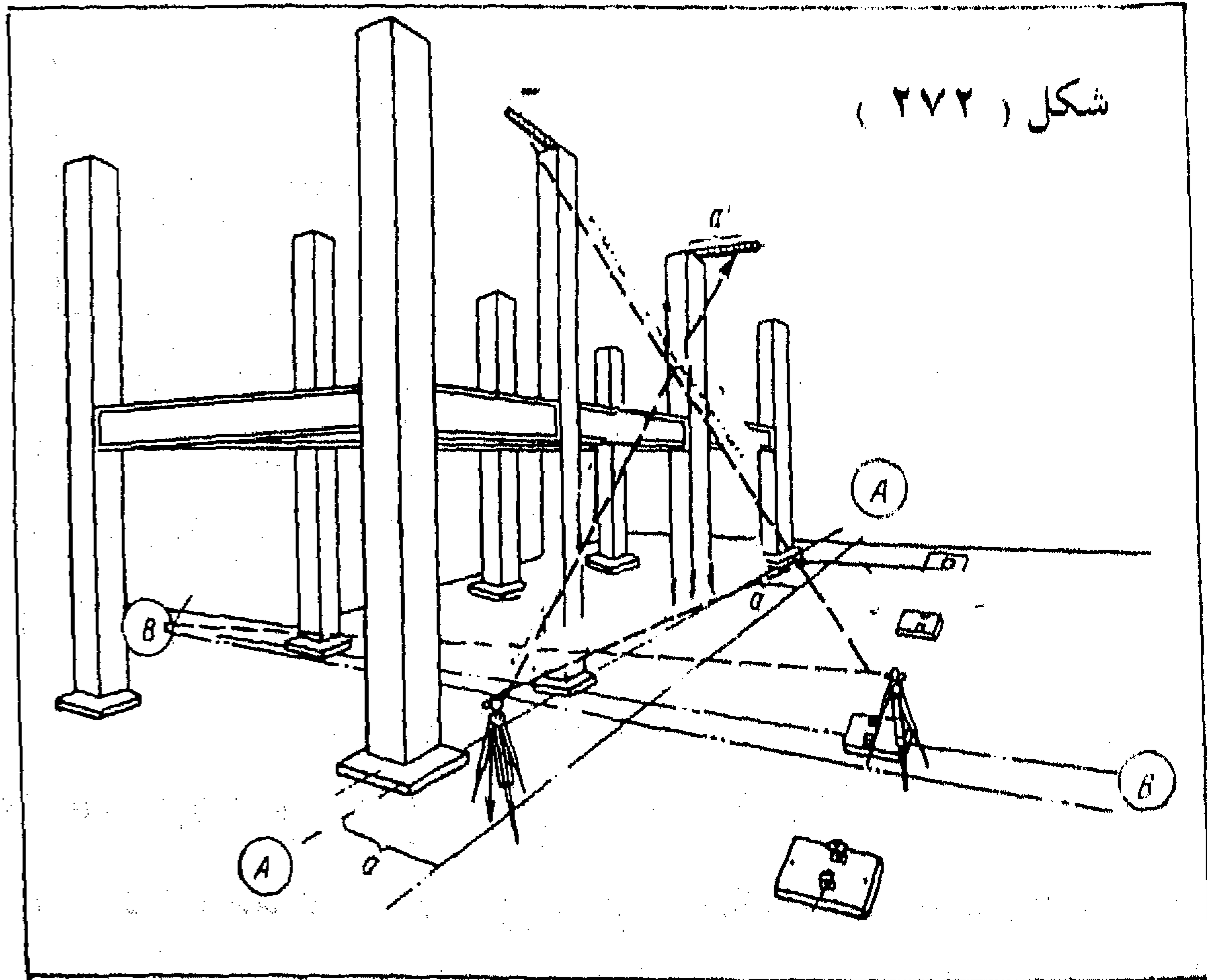
٥ ــ يثبت عند نهاية كل عمود وإبتداء من محوره قامة أفقية .

٦ ــ بالتيودوليت الموضوع عند ا′ ترصد العلامة عند ب′ وتثبت مسامير الحركة حول المحور الرأسى فى هذا الوضع ، ثم يرفع خط النظر حتى نرصد القامات الأفقية المثبتة فى نهايات الأعمدة ويحرك العمود حتى نحصل على قراءات القامات المختلفة تساوى أيضاً ل .



شكل (٢٧١)

وللتأكد من رأسية الأعمدة فى الإتجاهين المتعامدين ــ خاصة إذا كانت فى أكثر من صف واحد ــ تثبت على نهايات الأعمدة قامات فى الاتجاهين ويستخدم تيودوليتين (أو أكثر) فى الاتجاهات المتعامدة كما هو موضح فى شكل (٢٧٢) .

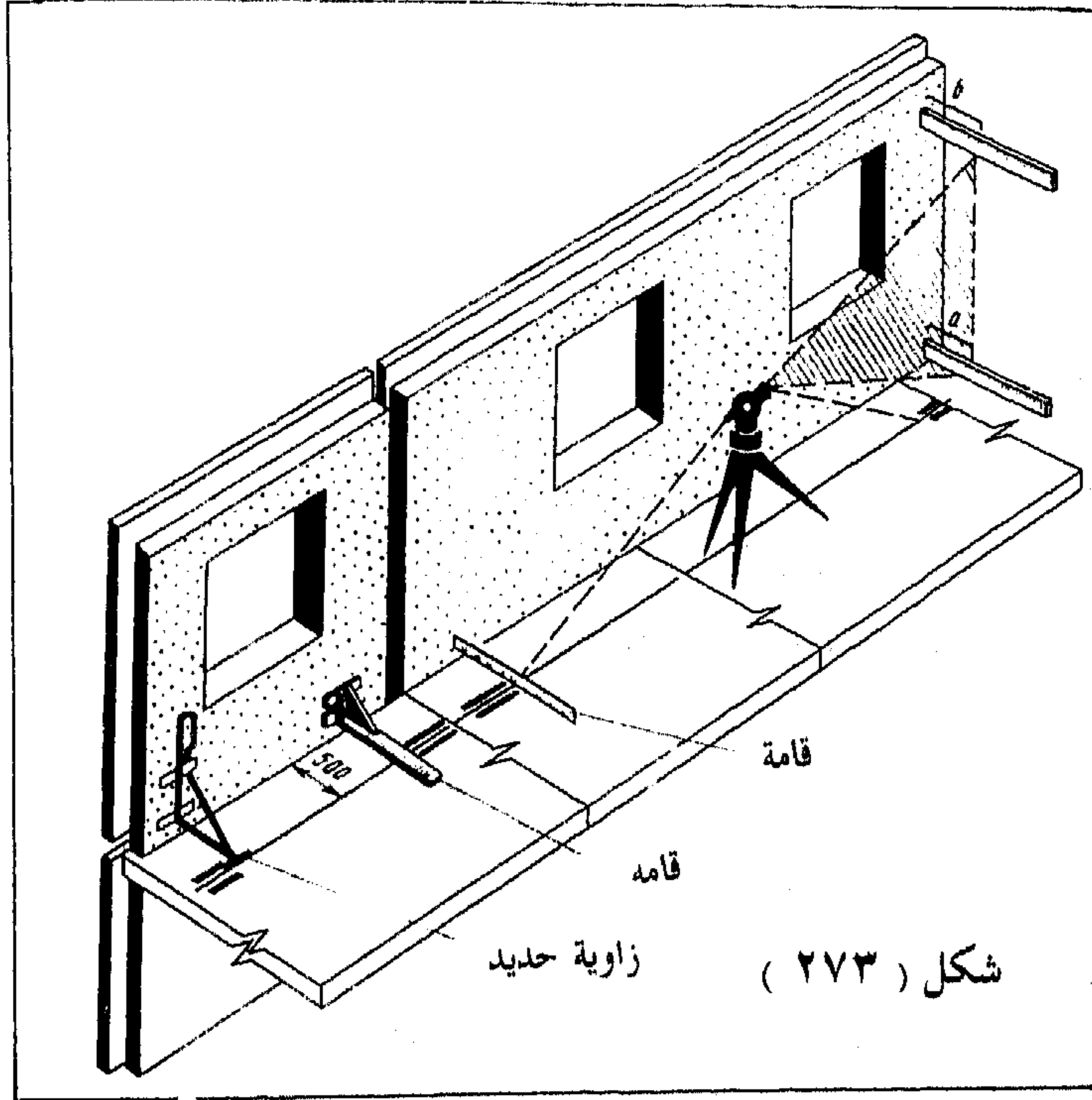


شكل (٢٧٢)

ضبط رأسية الحوائط السابقة التجهيز :

لتثبيت الحوائط السابقة التجهيز رأسياً عند الإنشاء للمنازل الجاهزة تتبع الخطوات الآتية :

١ ــ تثبت عند طرف أحد هذه الحوائط وعند قاعدتها زاوية حديدية طول ضلعها حوالى ٥٠ سم كما هو موضح فى شكل (٢٧٣) .



شكل (٢٧٣)

٢ ــ تثبت قامة عمودية على مستوى الحائط وعند نهايته ، ويؤخذ على هذه القامة بعداً يساوى طول ضلع الزاوية ويرسم على الأرضية المحور الواصل بين هذه العلامة وبين نهاية الزاوية الحديدية وهو سيكون موازياً لمستوى الحائط كما فى الشكل .

٣ ــ يثبت تيودوليت على إحدى نقط هذا المحور ويوجه المنظار ليرصد نقطة على المحور وتثبت مسامير الحركة حول المحور الرأسى فى هذا الوضع .

٤ ــ توضع قامات عمودية على مستوى الحائط وذلك عند أوله وآخره من أسفل ومن أعلى ونرصد قراءات هذه القامات والتى يجب أن تكون متساوية

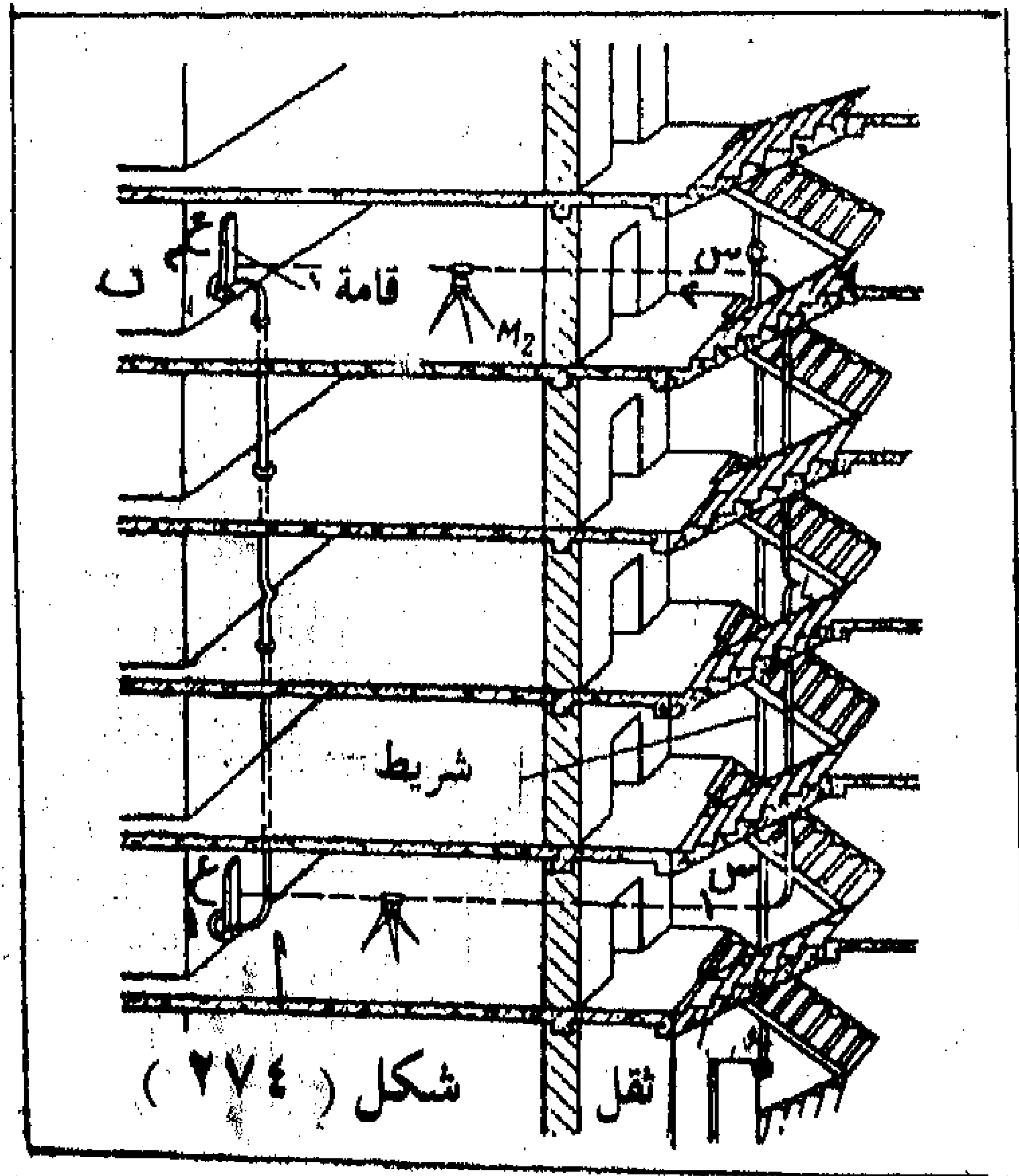
دائماً ومساوية البعد بين مستوى الحائط والمحور . أما إذا كانت قراءات القامة أعلى الحائط مختلفة عن القراءات عند أسفل الحائط فهذا دليل على عدم رأسية الحائط ويجب إجراء اللازم لتصحيح هذا الميل .

ملحوظة هامة :

يجب التأكد أولاً من شروط الضبط الدائم للتيودوليت المستخدم فى العمليات السابقة لأن أى خطأ فى عدم رأسية الشعرة الرأسية وتمركزها أو ميل لمحور حامل المنظار يسبب خطأ كبيراً فى تنفيذ العمليات السابقة . وإلا يتم إعادة العمل والجهاز فى الوضع متياسر وتصحيح الزحزحة إذا حدثت بمقدار النصف .

ثانياً ــ نقل المناسيب إلى أعلى المنشآت

كثيراً ما نحتاج إلى نقل المناسيب من سطح الأرض إلى الأدوار المختلفة أعلى المنشآت . ويمكن إجراء ذلك بطريقة شبيهة بالمتبعة فى نقل المناسيب إلى داخل الأنفاق أى بطريقة الشريط والميزانين ، ففى شكل (٢٧٤) لتعيين منسوب نقطة ب أعلى المنشأ من نقطة ا يثبت ميزان على السطح الذى تقع فيه نقطة (ا) وآخر على السطح الذى تقع فيه نقطة (ب) ثم يعلق شريط رأسى على



شكل (٢٧٤)

أن يكون أوله إلى أسفل وليكن فى بئر السلم الخاص بالمنشأ (أحياناً تعمل فتحات خاصة فى الأسقف لذلك) ثم تأخذ القراءات فى وقت واحد بالميزان الأول على القامة عند نقطة (أ) وبالميزان الثانى على القامة عند نقطة (ب) ، ثم فى وقت واحد أيضاً على الشريط بالميزان الأول والثانى فإذا كانت القراءات على القامة السفلى والقامة العليا هى $ع_1$ ، $ع_2$ على الترتيب وكانت القراءات على الشريط هى $س_1$ ، $س_2$ فإن منسوب نقطة (ب) يمكن حسابه كالآتى :

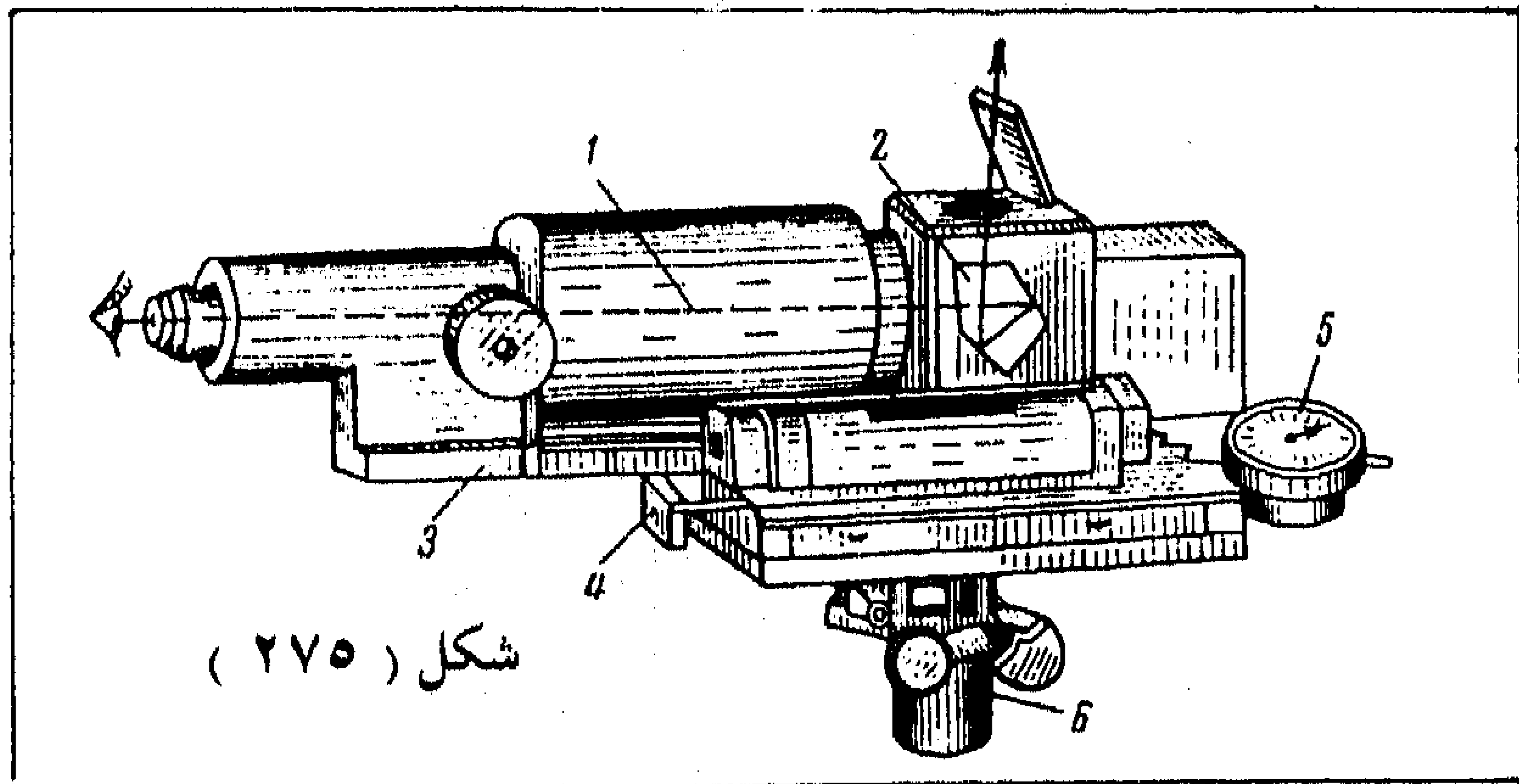
منسوب (ب) = منسوب (أ) + $ع_1$ + ($س_2$ — $س_1$) — $ع_2$

(٢١٢) ......

ثالثاً ـــ نقل المحاور للمنشأ إلى الأدوار المتكررة

من العمليات الهامة فى الهندسة المدنية عملية نقل المحاور للمنشأ إلى الأدوار المتكررة وتتم هذه العملية بإستخدام أجهزة خاصة شبيهة بمناظير ضبط التسامت المزودة بها التيودوليتات إلا أن هذه الأجهزة مستقلة فى عملها ووظيفتها نقل المحور الرأسى للجهاز إلى أعلى مسافات كبيرة بأخطاء صغيرة جداً .

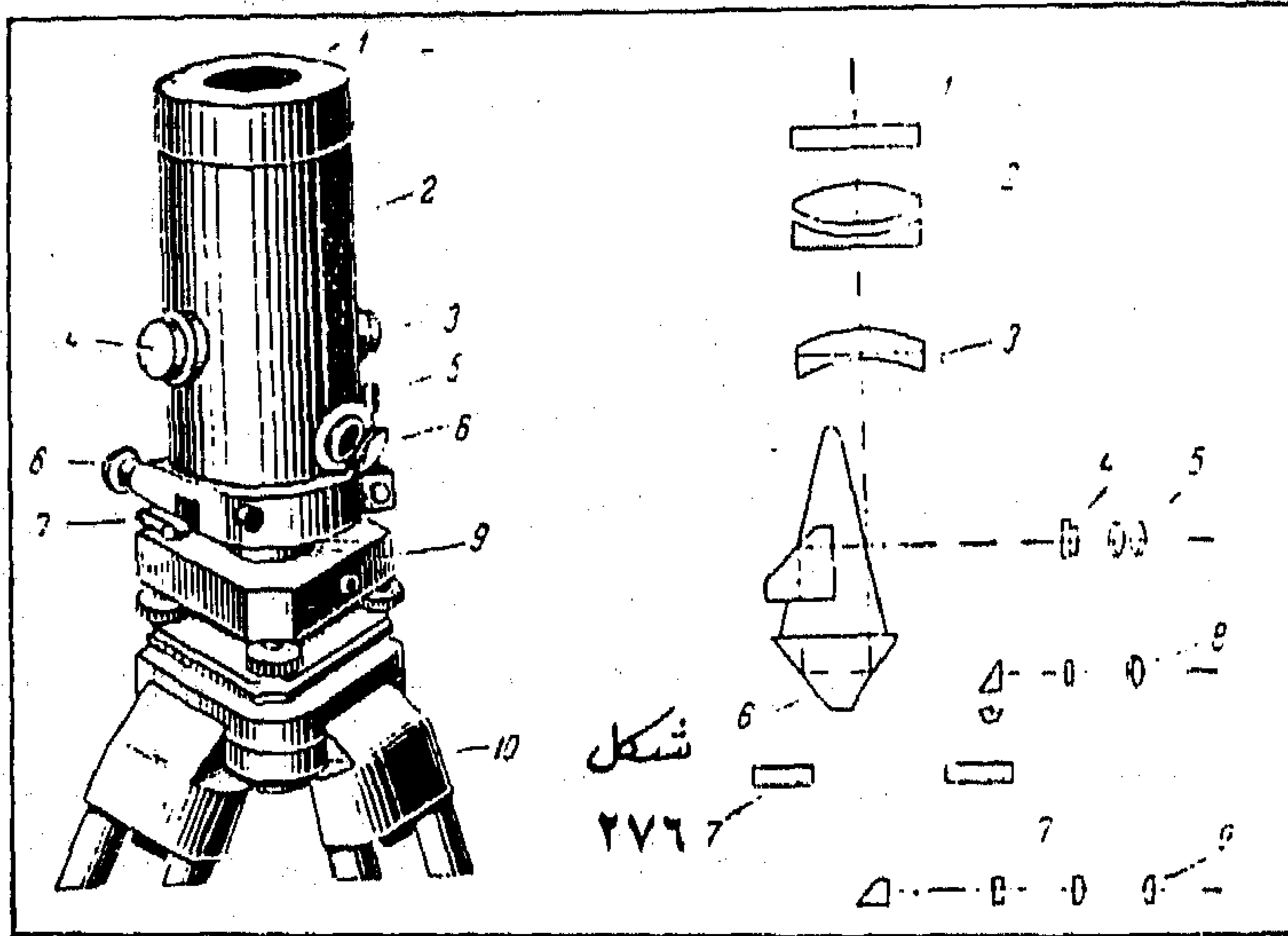
وشكل (٢٧٥) يبين مثال لهذه الأجهزة وهو الجهاز المعروف باسم POVP والذى يتكون أساساً من منظار مساحى (١) مركب أمام عدسته الشيئية منشور عاكس (٢) لكى ينكسر خط النظر إلى أعلى عمودياً على المحور



شكل (٢٧٥)

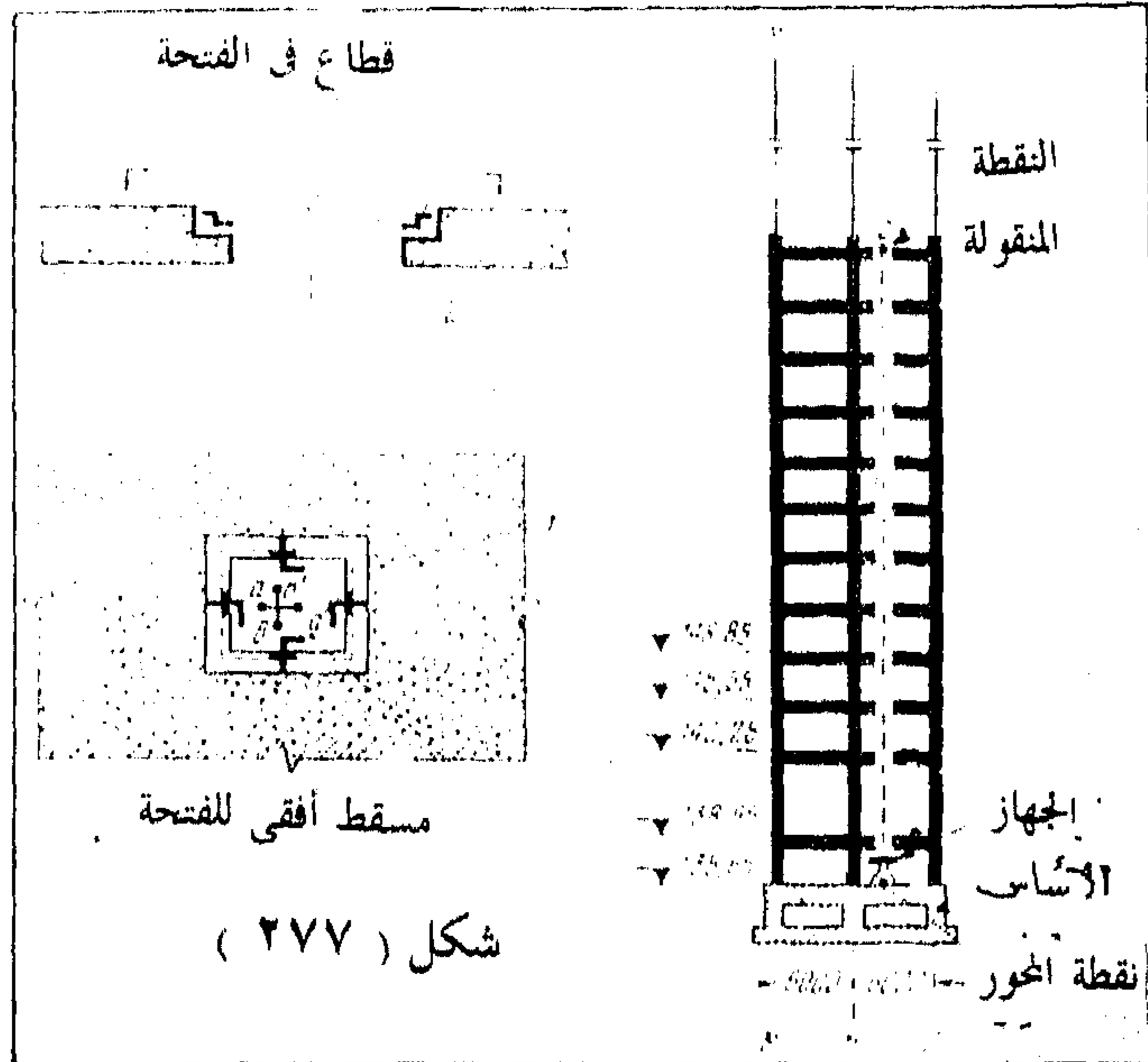
البصرى للمنظار ، وجسم الجهاز (٣) يمكن أن ينزلق على قاعدته (٤) فى الاتجاه الطولى ويمكن تسجيل مقدار هذه الحركة بميكرومتر خاص (٥) ويمكن تثبيت محور الجهاز (٦) على أى حامل ثلاثى . والخطأ فى إنحراف الشعاع المنكسر فى حدود ± ٠,٢″ .

وشكل (٢٧٦) يبين مثالاً آخر لهذه الأجهزة وهو جهاز P Z L من صنع شركة زايس وهو شبيه فى تركيبه بجهاز Koni - 007 وفيه يتم ضبط خط النظر رأسياً بمجرد ضبط الجهاز أفقياً ويمتاز هذا الجهاز عن الجهاز الأول بأنه يمكن إجراء عملية التسامت للجهاز بصرياً ودقته عالية جداً إذ أن أكبر زحزحة لخط النظر الرأسى على إرتفاع ١٠٠ متر من الجهاز هى ± ١ ملليمتر .



شكل ٢٧٦

ولنقل المحاور الأفقية للمنشأ من الدور الأرضى للأدوار المتكررة تعمل فتحات فى أسقف الأدوار المتكررة أعلى نقط المحور مقاسها ٣٠ سم × ٣٠ سم شكل (٢٧٧) . ثم يوضع جهاز نقل المحور الرأسى مسامتا لنقطة المحور الثابتة فى الدور الأرضى ويوضع لوح من البلاستيك الشفاف على الفتحة عند السقف المراد نقل المحور إليه ، ويضبط الجهاز أفقى ونرصد المحور الرأسى (أى خط النظر الرأسى) ثم يحرك قلم رصاص على اللوح البلاستيك حتى يرصد بخط نظر الجهاز وتعمل علامة على اللوح . بعد ذلك تدير الجهاز حول



شكل (٢٧٧)

محوره الرأسى ٩٠° ونكرر العمل السابق فنحصل على نقطة ثانية على اللوح ثم ندير الجهاز مرة أخرى حول المحور الرأسى ٩٠° درجة أخرى (أى ١٨٠° عن أول وضع) فنحصل على نقطة ثالثة ، وأخيراً ندير الجهاز حول محوره الرأسى ٩٠° أخرى (أى يصير المجموع ٢٧٠°) نحصل على نقطة رابعة على اللوح البلاستيك كما هو موضح فى شكل (٢٧٧) . وبهذا تكون نقطة المحور الجديدة فى هذا الدور هى النقطة المتوسطة للأربع نقط ونحصل عليها بتقاطع الخطين المستقيمين الواصلين بين كل نقطتين متقابلتين .

يكرر نفس العمل عند النقطة التى تحدد نهاية المحور وبهذا نحصل على نقطتى المحور الجديدتين على سقف الدور المطلوب .

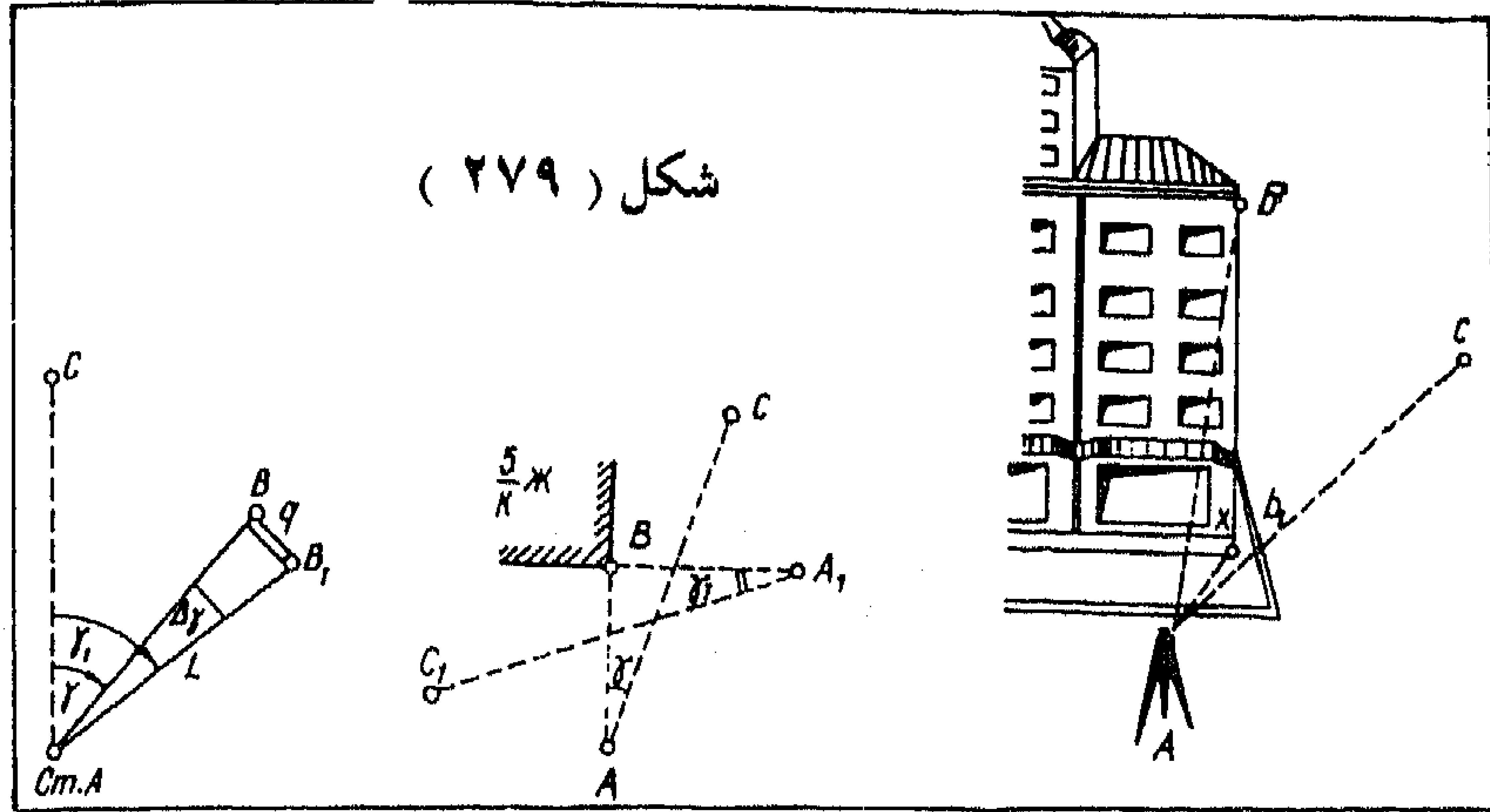
رصد الميل الحادث فى المنشآت العالية

هناك طرق عديدة لرصد الميل الحادث فى المنشآت العالية كالعمارات السكنية أو الأبراج الحديدية أو مداخن المصانع ، ومن أحسن هذه الطرق الرصد بجهاز تيودوليت لتحديد مقدار زاوية الميل ومقدار ازاحة قمة المنشأ عن قاعدته .

وشكل (٢٧٨) يوضح مثالاً لرصد ميل برج دائرى عن محوره الرأسى ولأتمام ذلك تم اختيار موضعين للرصد بجهاز التيودوليت فى جهتين متعامدتين على بعضها ويقعا على محور البرج وحددت علامات على قمة وجسم البرج بحيث تقاس الزوايا المحصورة عند نقط الرصد بين الخطوط الواصلة إلى هذه النقط وبين اتجاه ثابت (وذلك لكلا الموضعين) . ويتم الرصد بانتظام فى فترات زمنية متباعدة فإذا ما ظهر اختلاف فى مقادير هذه الزوايا دل ذلك على الميل . ويحدد مقدار الميل بتعيين ارتفاع البرج تاكيومترياً بالتيودوليت وبعد نقطة الرصد عن البرج وبذلك تكون لدينا المعلومات الكافية للحساب .

شكل (٢٧٨)

وشكل (٢٧٩) يبين مثال آخر لتحديد ميل مبنى سكنى بالرصد على قمته (B) بالتيودوليت من نقطة (A) الواقعة على امتداد ضلع المبنى ثم من نقطة (A_1) الواقعة على امتداد الضلع العمودى ، وفى كلا الحالتين تقاس الزاوية الأفقية بين القمة وإتجاه آخر ثابت (A C للوضع الأول ، A_1 C_1 للوضع الثانى) . فإذا ظهر أى تغيير فى مقدار الزاوية المقاسة فى رصدتين متتاليتين دل ذلك على حدوث ميل فى هذه الفترة الزمنية للرصد . فإذا ما كان مقدار التغيير فى الزاوية الأفقية هو $\triangle \gamma$ (شكل ٢٧٩) وكان بعد نقطة الرصد عن حافة المبنى هو L فإن مقدار ازاحة قمة المبنى B_1 عن موضعه الأصلى B هو q فيحسب من المعادلة :



$$q = \Delta\,\gamma''\,.\,L\,.\,\frac{t}{206265} \qquad \text{(٢١٣) .....}$$

ويتم حساب q_1 فى الأتجاه المتعامد ومن ثم يتم حساب متجه الازاحة الكلية . أما إذا كان الميل قد حدث فعلاً كلية ويراد حساب مقداره ومقدار الزحزحة فإنه يتم اسقاط موقع قمة المبنى على مستوى الشارع بتيودوليت مستوفى شروط الضبط الدائم وتقاس المسافة من موضع المسقط حتى ركن المبنى فيكون هذا مقدار الزحزحة (يتم ذلك فى إتجاهين متعامدين) وبمعرفة مقدار الزحزحة وارتفاع المبنى يتم حساب زاوية الميل .

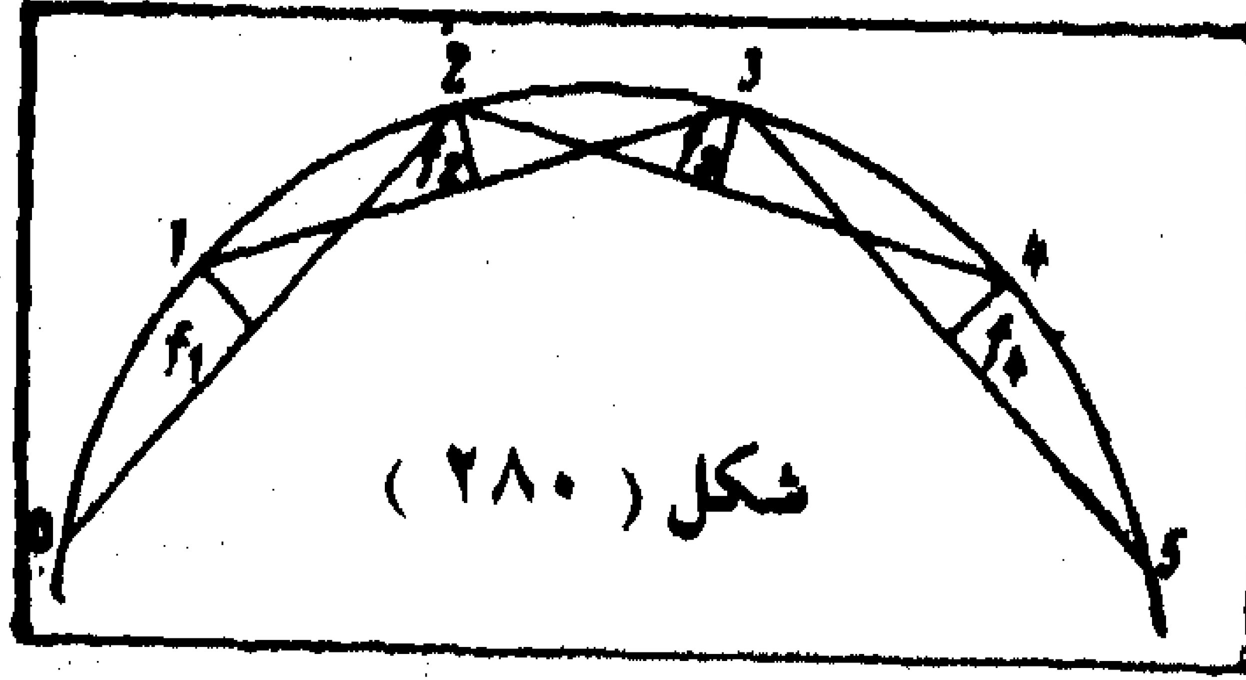
الباب السادس والعشرون

التحقق من دقة تنفيذ منحنيات السكة الحديد

إن عملية التحقق من دقة تنفيذ منحنيات السكة الحديد تجرى فى الموقع عند انشاء الخطوط الجديدة ، أو عند إجراء الصيانة لهذه الخطوط وتجديد القضبان أو الفلنكات أو مادة التزليط . والغرض من العملية هو التأكد من أن انحناء القضبان الذى يجرى فى الورش بأستخدام أسس تخطيط المنحنيات لم يتغير نتيجة عمليات نقل القضبان إلى موقعها أو نتيجة تثبيت هذه القضبان . وتتم عملية التحقق إما بطريقة الأسهم والتى يستخدم فيها فقط الشريط وقامة مدرجة ، أو بواسطة إستخدام جهاز مساحى مثل التيودوليت بالإضافة لبعض الأدوات المساعدة .

أولاً : باستخدام طريقة الأسهم :

وهى تستخدم عندما يكون طول المنحنى غير كبير ، وفيها يستخدم شريط وقامة مدرجة بدقة ملليمتر واحد . ويتم التحقيق بأخذ طول من الشريط قدره ٥ أو ١٠ أمتار وأعتباره طول وتر فى المنحنى (شكل ٢٨٠) ، يثبت أول



شكل (٢٨٠)

الشريط عند نقطة بداية المنحنى (O)ويشدعلى طوله حتى نحصل بنهايته على نقطة على القضيب مثل نقطة (٢) (شكل ٢٨٠) ، ينصف الوتر من نقطة المنتصف وبواسطة القامة المدرجة يقاس طول السهم الداخلى f_1 عمودياً على الوتر وفى نفس الوقت نحصل على نقطة جديدة (١) . نكرر العمل بتثبيت أول الشريط عند (١) وآخر الشريط يحدد نقطة مثل (٣) ثم نقيس السهم الداخلى

f_2 والذى لابد وأن يمر بنقطة (٢) . بتثبيت الشريط فى (٢) نحصل بآخره على نقطة (٤) ونقيس السهم الداخلى والذى لابد وأن يمر بنقطة (٣) ... ونستمر فى العمل حتى نصل إلى آخر المنحنى . للتحقق من العمل يعاد القياس مرة أخرى من آخر نقطة فى المنحنى وحتى أوله . ويجب أن لا يزيد الفرق فى قياس الأسهم عن ٢ ــ ٣ ملليمتر وفى حالة وجود فروق أكبر من ذلك يعاد العمل مرة ثالثة للتأكد من القيم الناتجة مع مراعاة توفر الدقة فى القياس وفى شد الشريط وعدم العمل فى وجود رياح قوية .

بعد الحصول على قيم الأسهم الداخلية عند نقط المنحنى المختلفة تقارن القيم المقيسة بالقيم الحسابية من واقع البيانات التصميمية للمنحنى (نصف قطره وزاويته أو درجته) فيجب أن لا يزيد الفرق عن ١٥ ملليمتر وإلا فتقوم مجموعة الصيانة للسكة بعمل تعديل للانحناء حتى تتطابق الأسهم المقاسة مع الأسهم من واقع الحساب .

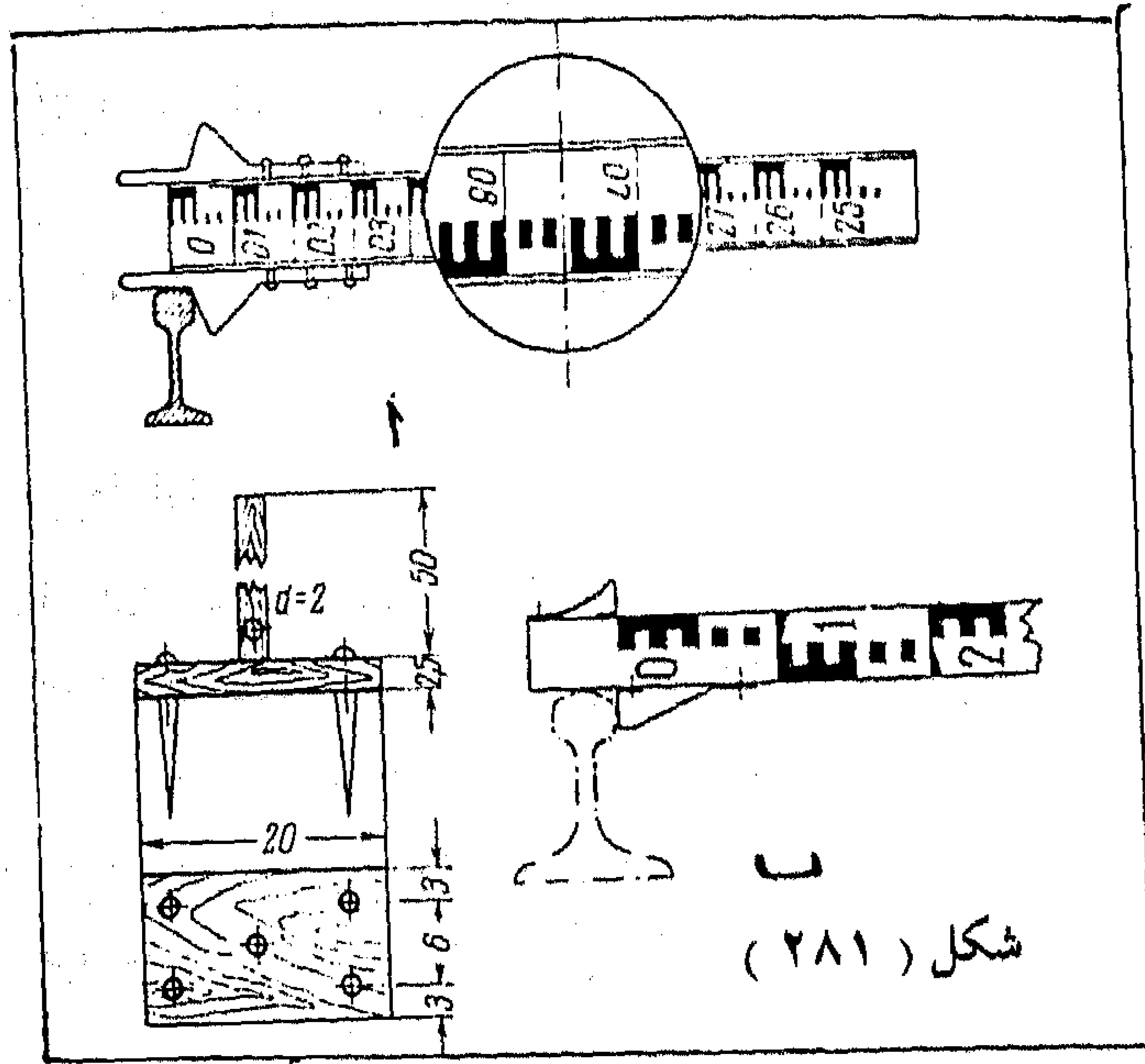
ثانياً ــ بأستخدام الأجهزة :

وعادة يستخدم فى هذه الطرق تيودوليت وقامة مدرجة خاصة . ويمكن التحقق من دقة تنفيذ المنحنيات بأستخدام الأجهزة إما بطريقة جونيكبرج أو طريقة لوتز أو طريقة النقط الثابتة وفيما يلى سنوجز هذه الطرق الثلاث :

أ ــ طريقة جونيكبرج :

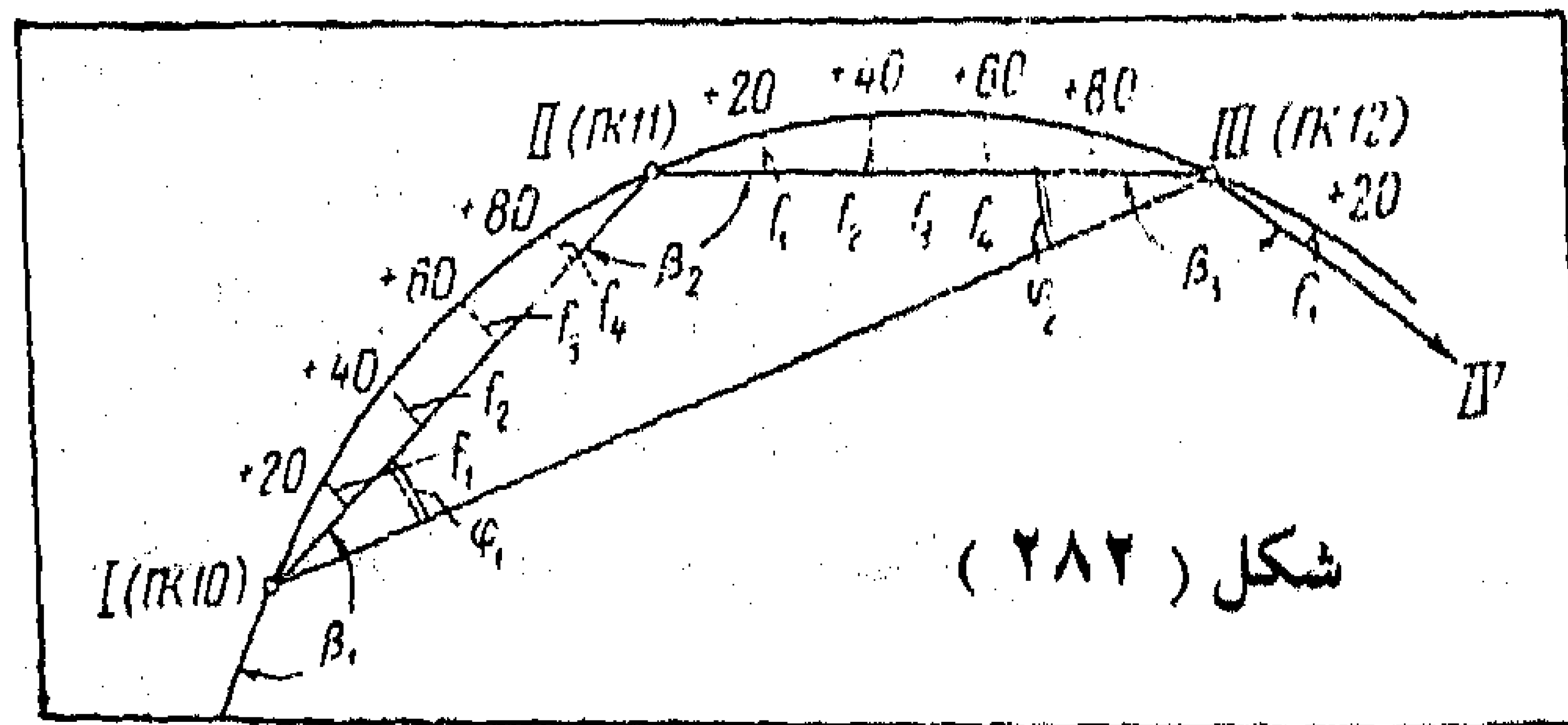
ويستخدم فى هذه الطريقة تيودوليت وثلاث علامات رصد وقامة ميزانية مجهزة عند نهايتها تجهيزاً خاصاً حتى يمكن إرتكازها على تاج القضيب وهى فى وضع أفقى ، شكل (٢٨١) يبين تفاصيل إحدى هذه القامات المجهزة .

ولأجراء عملية التحقق نبدأ بوضع علامات بالبوية على تاج القضيب من الداخل ناحية المركز وذلك كل عشرون متراً من بداية المنحنى ، ونثبت التيودوليت عند نقطة بداية المنحنى I شكل (٢٨٢) وعلامات الرصد عند النقط II ، III (عند مسافة ١٠٠ ، ٢٠٠ متر من بداية المنحنى) وعلامة أخرى على إمتداد المماس للمنحنى من بدايته ، ثم نقيس الزاوية بين المماس والوتر الكلى I II ولتكن β_1 كذلك الزاوية ϕ_1 وذلك لضبط المثلث I II III .



شكل (٢٨١)

يثبت اليداد التيودوليت فى الأتجاه I II ثم تركز القامة أفقياً على تاج القضيب فى النقط ٢٠ ، ٤٠ ، ... وفى كل مرة وبواسطة الشعرة الرأسية للتيودوليت نأخذ قراءة القامة فتكون هى الأحداثيات f_1 ، f_2 ، ..... بعد الإنتهاء من الحصول على كل قيم الأحداثيات من الخط I ، II ينقل التيودوليت إلى نقطة II وعلامات الرصد عند I ، III ، IV ويكرر العمل بقياس الزاوية β_2 بين الوترين ثم ترصد الأحداثيات على طول الأوتار II-I ، I-II ، III-II . نأخذ متوسط الأحداثيات المأخوذة على إمتداد I - II إذا كان الفرق لا يزيد عن ثلاثة ملليمترات أما إذا زاد عن ذلك فتأخذ أرصاد ثالثة . تسجل النتائج فى جدول

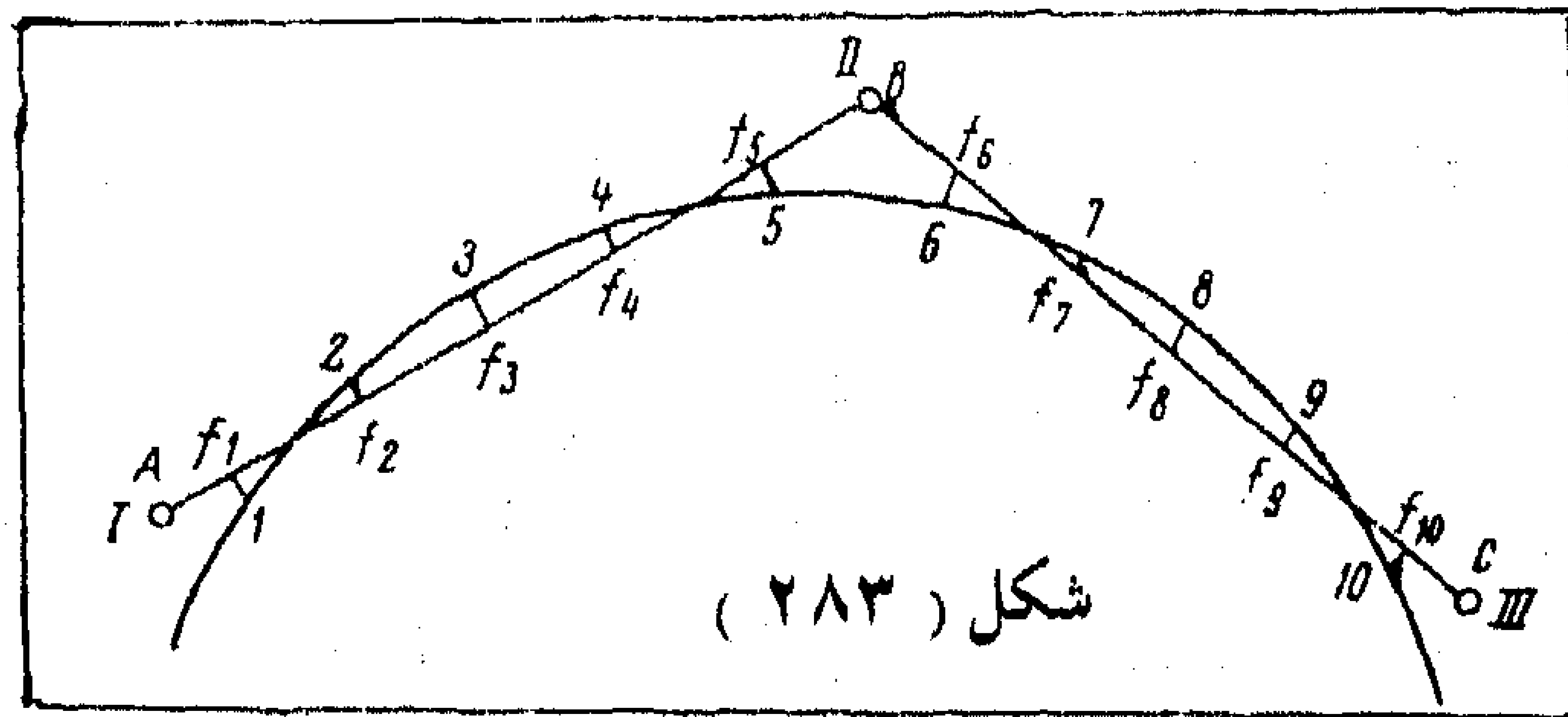


شكل (٢٨٢)

خاص مع الأخذ فى الاعتبار أن هذه الأحداثيات مركزية حيث أن القامة المرتكزة أفقياً على تاج القضيب ترتكز عمودياً على القضيب نفسه . تقارن نتائج القياس بنتائج حساب هذه الأحداثيات المحسوبة من واقع البيانات التصميمية للمنحنى وإذا كانت هناك فروق ملحوظة يجرى تعديل الأنحناء فى الموقع .

ب ــ طريقة لوتز :

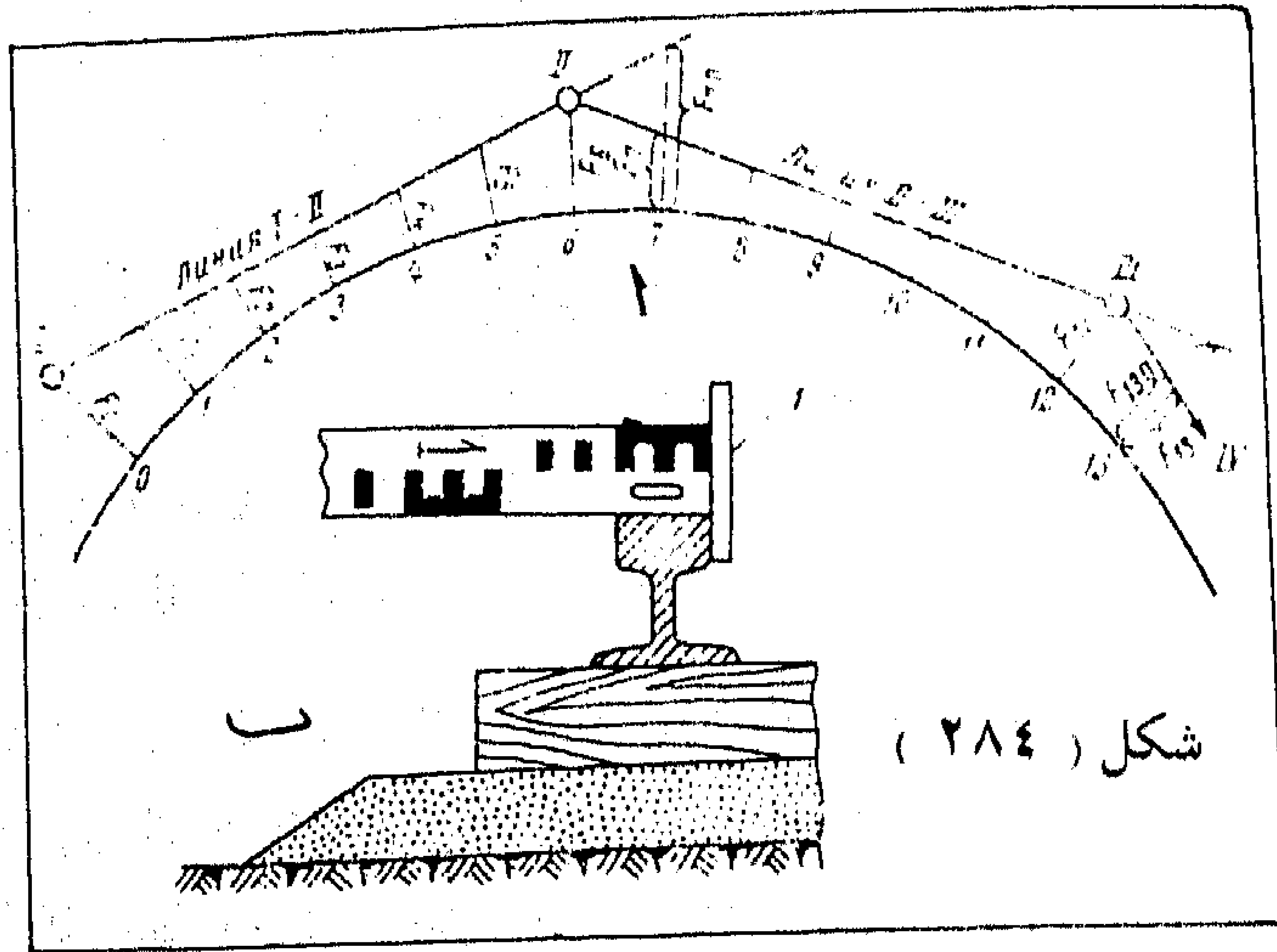
فى هذه الطريقة لا تؤخذ الأحداثيات عمودية على القضيب ومن وتر فى المنحنى إنما تؤخذ عمودية على وتر يصل نقط خارج المنحنى وعلى بعد لا يقل عن ٢ متر من محور السكة كما هو موضح فى شكل (٢٨٣) ويمتاز العمل بهذه الطريقة أنه لا داعى لرفع التيودوليت من موقعه عند مرور القطارات عكس طريقة جونيكبرج التى يلزم عند العمل بها توقف مسير القطارات .



شكل (٢٨٣)

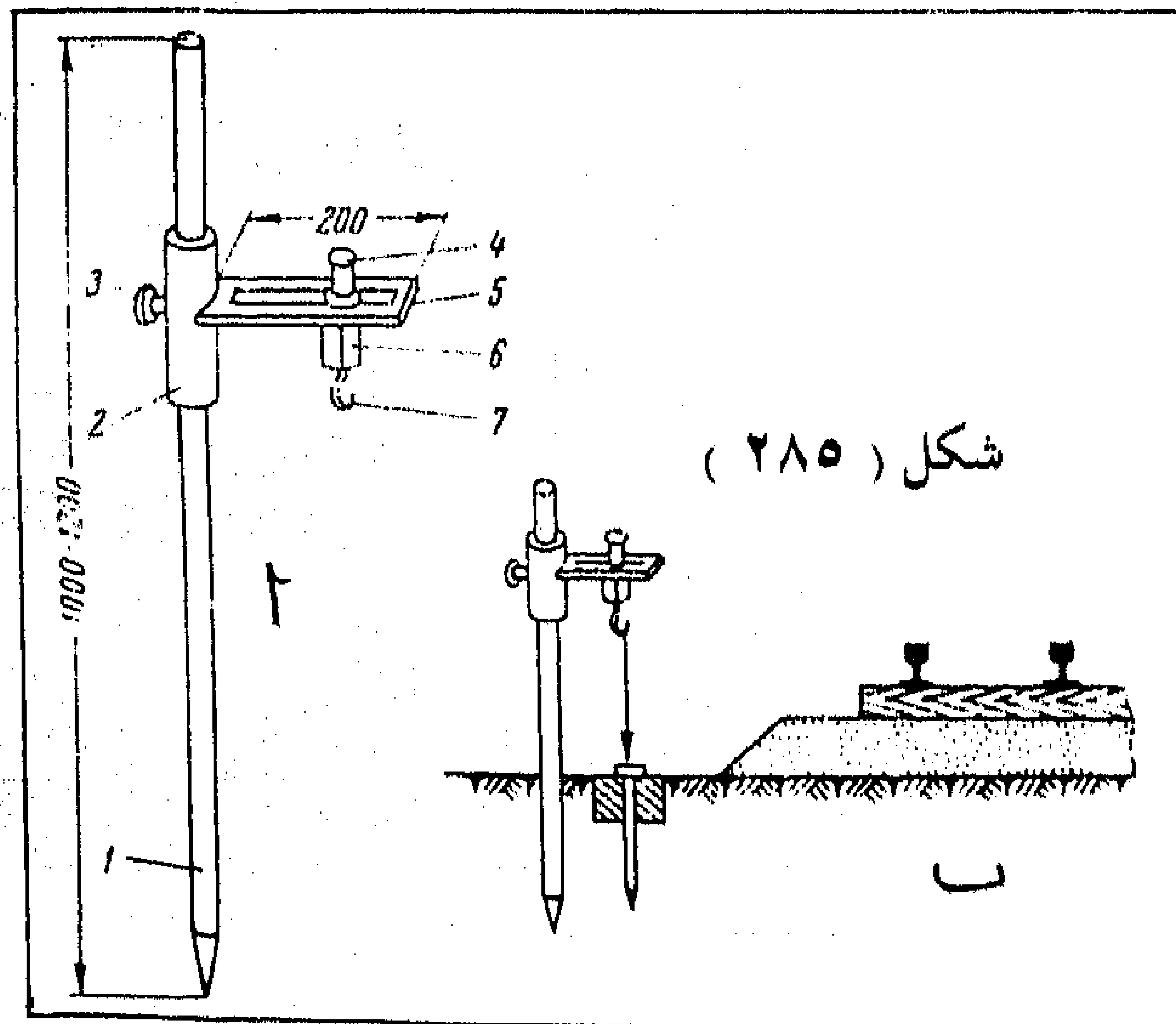
حـ ــ طريقة النقط الثابتة :

وتعتبر من أدق الطرق وفيها توضع علامات بالبوية على تاج القضيب من الداخل كل ٥ أو ١٠ متر وتعطى هذه العلامات أرقام صفر ، ١ ، ٢ ، ... كما هو موضح فى شكل (٢٨٤ ــ أ) . أمام نقطة صفر وكذلك أمام النقط التى تتباعد عن بعض مسافات ٦٠ ــ ٨٠ متر تثبت نقط على مسافات لا تقل عن ٢ متر خارج القضيب المنحنى كما فى الشكل ذلك إذا كان خط السكة الحديد مفرد ــ أما إذا كان الخط مزدوج فتكون النقط الثابتة خارج السكة الخارجية وبين السكتين وعلى المحور حتى نتحاشى رفع التيودوليت أثناء مسير القطارات .



شكل (٢٨٤)

وفى هذه الطريقة يستخدم تيودوليت وقامة ميزانية مدرجة الوجهين ومثبت فى نهايتها لوح من الخشب عمودى عليها كما هو واضح فى شكل (٢٨٤ ــ ب) . بالاضافة إلى ذلك تستخدم علامات رصد خاصة كالموضحة فى شكل (٢٨٥ ــ أ) والتى يسهل رفعها أو خفضها بأنزلاقها على قضيب معدنى يسهل تثبيته رأسياً بجوار النقطة الثابتة كما يسهل أيضاً تحريك العلامة فوق النقطة الثابتة كما هو موضح فى شكل (٢٨٥ ــ ب) .

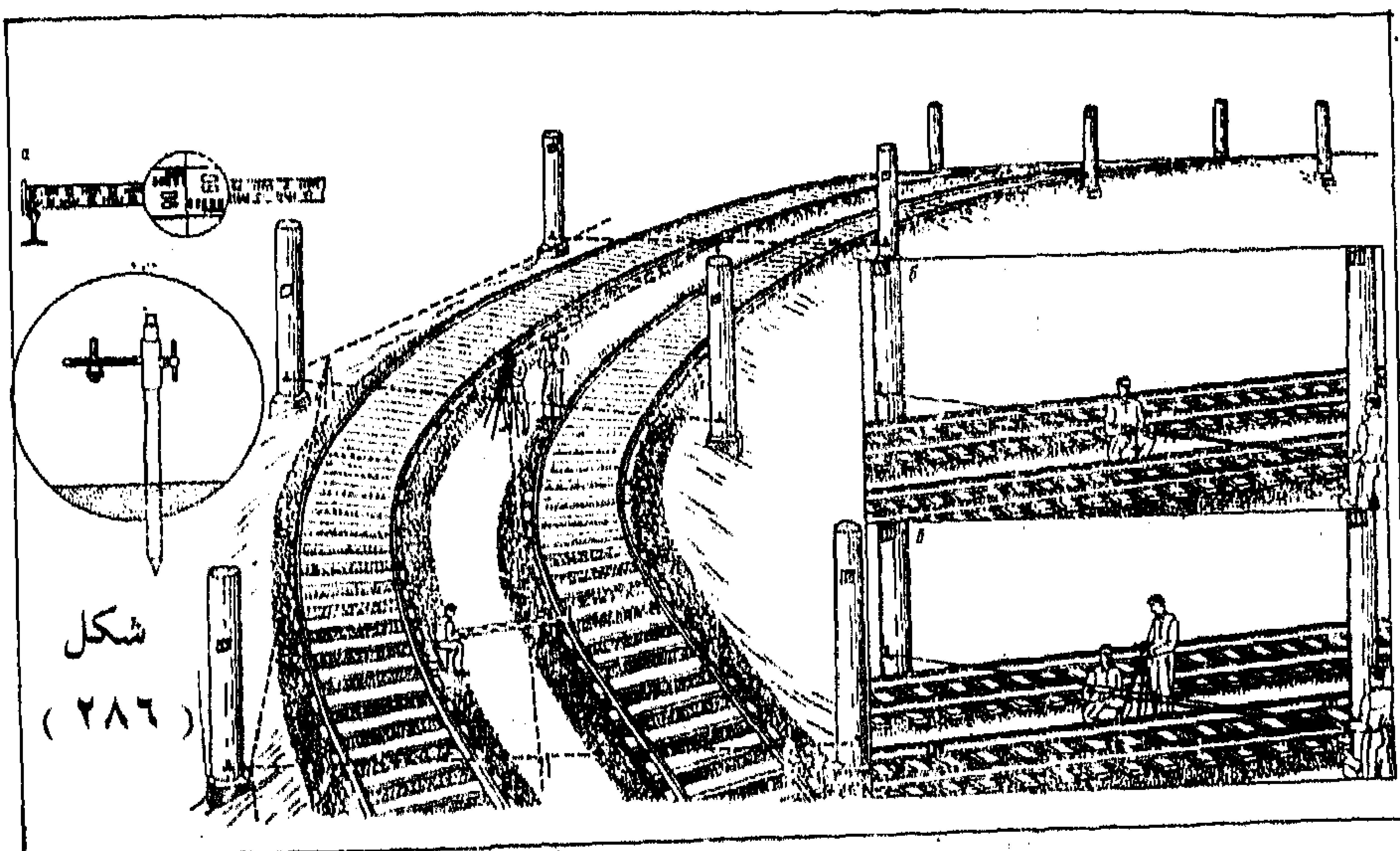


شكل (٢٨٥)

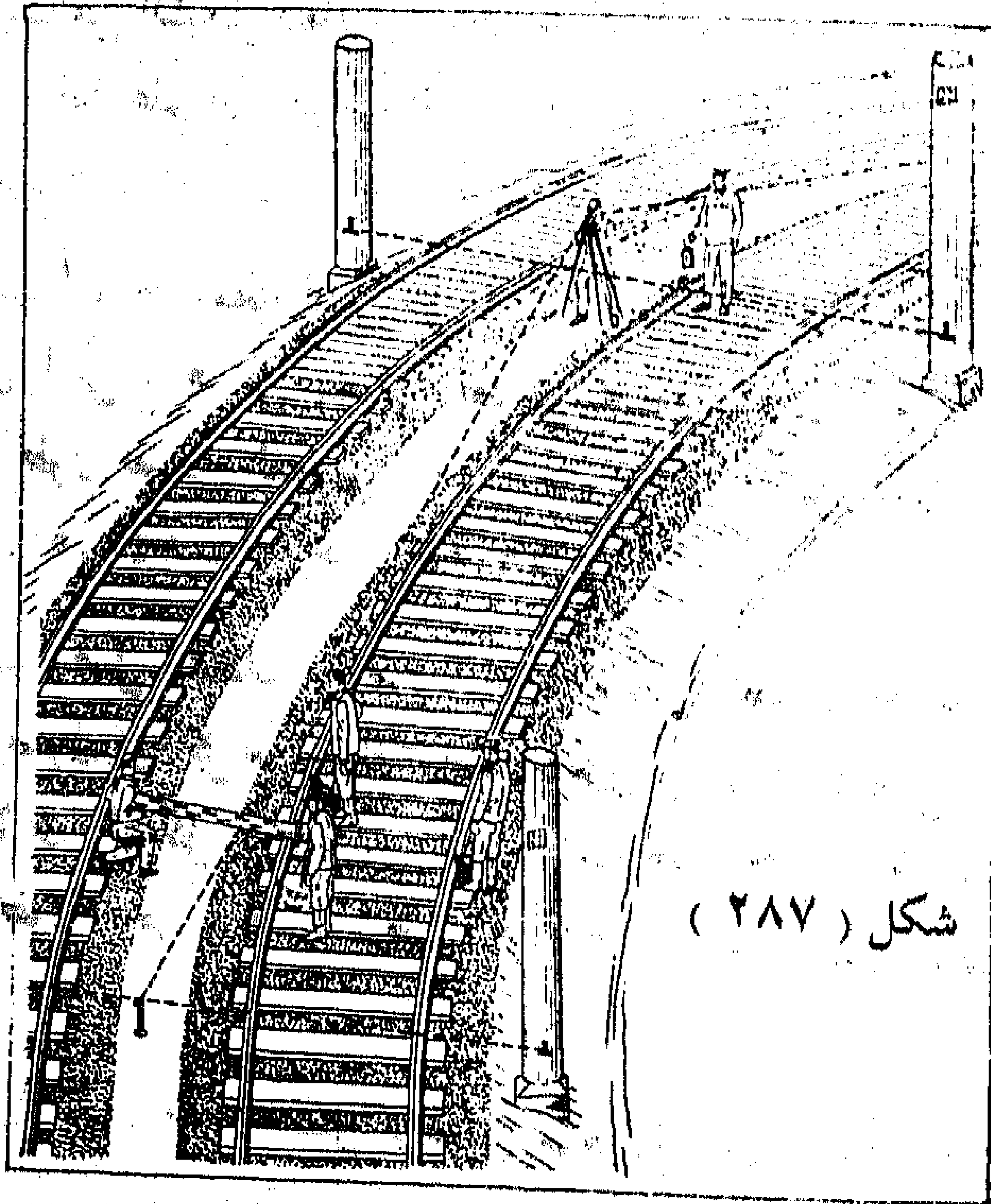
ولأجراء التحقق من صحة الأنحناء تثبت علامتا رصد فوق النقط I ، III وتيودوليت فوق النقطة II كما فى شكل (٢٨٥ ــ أ) . يوجه اليداد التيودوليت إلى نقطة I ويثبت هذا الاتجاه ثم تركز القامة على تاج القضيب من الداخل بحيث يصبح وضعها أفقياً ومركزياً وذلك عند النقط ١ ، ٢ ، .... ، ٥ على الترتيب وفى كل مرة تؤخذ قراءة القامة بواسطة الشعرة الرأسية لأليداد التيودوليت فنحصل على الأحداثيات F_1 ، F_2 ، .... ، الأحداثيات F_5 ، F_6 ، ... والمقابلة للنقط الثابتة نحصل عليها كقراءات مباشرة بالقامة .

بعد الحصول على هذه الأحداثيات ينقل التيودوليت إلى نقطة III وعلامات الرصد فوق النقط II ، IV ونحصل من جديد على الأحداثيات للخط II - III ونأخذ المتوسط من نتائج الأرصاد . وشكلا (٢٨٦) ، (٢٨٧) يبينان رسمين توضيحيين لأجراء التحقيق من انحناء خط سكة حديد مزدوج بطريقة النقط الثابتة .

نقارن بعد ذلك قيم الأحداثيات المرصودة والأحداثيات المحسوبة من واقع البيانات التصميمية للمنحنيات .



شكل
(٢٨٦)



شكل (٢٨٧)

مسائل عامة متنوعة

١ ـ الشكل يبين ميدان نهاية خط للسيارات . أوجد نصفى قطرى المنحنيين ا ب ، حـ ء ، أطوال الأقواس ا ب ، ب حـ ، حـ ء .

ا ب : نق = ٣٧٨,٥ ، حـ ء : نق = ١٥٠,٠ ، الأقواس ا ب = ١٢٨,٥ ، ب حـ = ١٢١,٤ ،

٢ ـ من الشكل المطلوب إيجاد طول المنحنى ا ب ، والمسافتين هـ ب ، ب حـ . إذا علم أن انحراف هـ حـ عند ب ، يمر بنقطة ا .

ج ـ القوس ا ب = ١٧٤١,٢ ، هـ ب = ١٥٥١,٨ ، ب حـ = ١٤٣٠,٤ .

٣ ـ ا ، حـ نقطتا تماس على ا ب ، ب حـ ، س نقطة التماس المشتركة القوسين ا س ، حـ س بنصفى قطرين مختلفين . م١ ، م مركزا القوسين . أحسب طول نصفى القطرين . م١ ، م ، س ، ب على خط مستقيم واحد . (ا س : ١٤٨,٥ ، س حـ : ٦٦,٢٧) .

٤ ـ وصل الخطان س ص ، ل ع بمنحنى نصف قطره ٢٠ متر . ولم يمكن الوصول إلى كل من نقطة تقاطع الخطين أو مركز المنحنى الذى يمر خلال المبانى كما فى الشكل . الأقواس ا ب ، ب حـ ، حـ ء كل منها ١٠ متر . أحسب طول ا ص ، هـ ع ، طول الوتر هـ ء . بين كيف توقع الأوتار عند ب ، حـ ، ء .

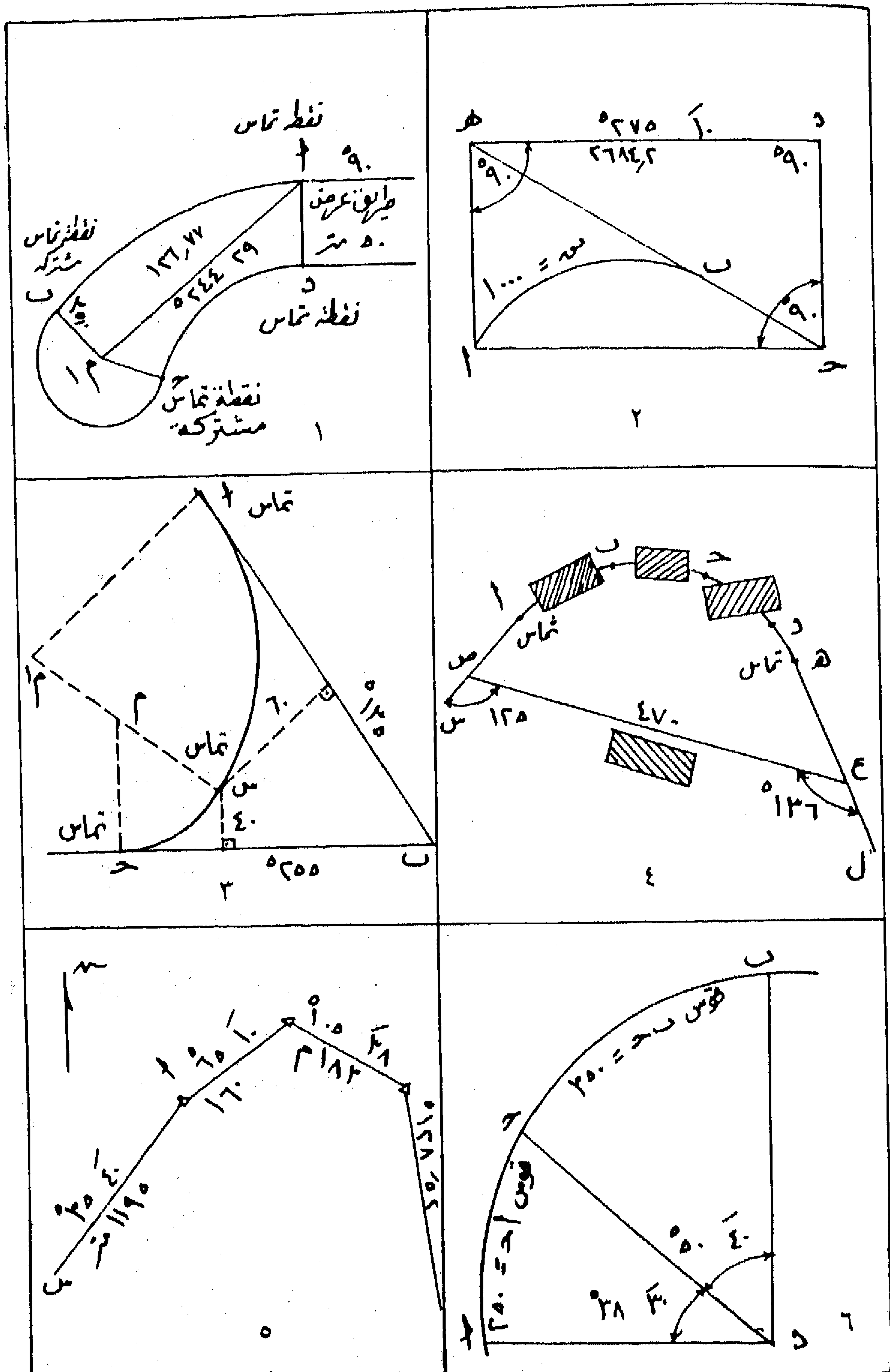
٥ ـ ا ب ، ب حـ تمثل ترافرس موصل بين س ا ، ص حـ .

ا ـ أوجد نصف قطر المنحنى الذى يمس الخطين س ا ، ص حـ ويمر بنقطة ب . ج ـ نق = ٢٤١,١٧ م ،

ب ـ إذا أعطيت س كنقطة أصل للعملية المساحية . أحسب تدريج كل من نقطتى التماس ونقطة ب . (١١٥٥,٩٤ ، ١٥٤٨,٢٤) .

٦ ـ ا ، حـ ، ب ثلاث نقط على محيط دائرة نصف قطرها ٢٥٠ م طول القوس ا حـ = ٢٥٠ متر ، القوس حـ ب = ٣٥٠ متر . أوجد طول البعد ء حـ

ج ـ ء حـ = ٣٨٤,٨٢ .


نقطة تماس
٩٠°
طريق عرض
٥٠ متر
نقطة تماس مشتركة
١٣٦,٧٧
٢٩
٢٤٤°
نقطة تماس
نقطة تماس مشتركة
١
٢٧٥°
٢٦٨٤,٢
٩٠°
نق = ١٠٠٠
٢
تماس
تماس
تماس
٦٠
١٢٥°
٤٠
٢٥٥°
٣
تماس
تماس
٤٧٠
١٢٥
١٣٦°
٤
٩٠°
١٦٠
١٨٢م
١١٩٥ متر
٥
قوس ب حـ = ٢٥٠
قوس أ حـ = ٢٥٠
٥٠°
٣٨°
٦

٧ ـــ وقع منحنى دائرى نصف قطره ٣٠٠ متر بين نقطتى ا ، ب . يراد تعديله واستبداله بمنحنى بنصف قطر أكبر يمر بنقطة هـ التى تبعد بمقدار ١٠ أمتار أسفل حـ قمة المنحنى الأول . أوجد نصف قطر المنحنى المقترح والمسافة و ء لنقطة التماس . ج ـــ ٣٩٦,٧٣ ، ١٨٥

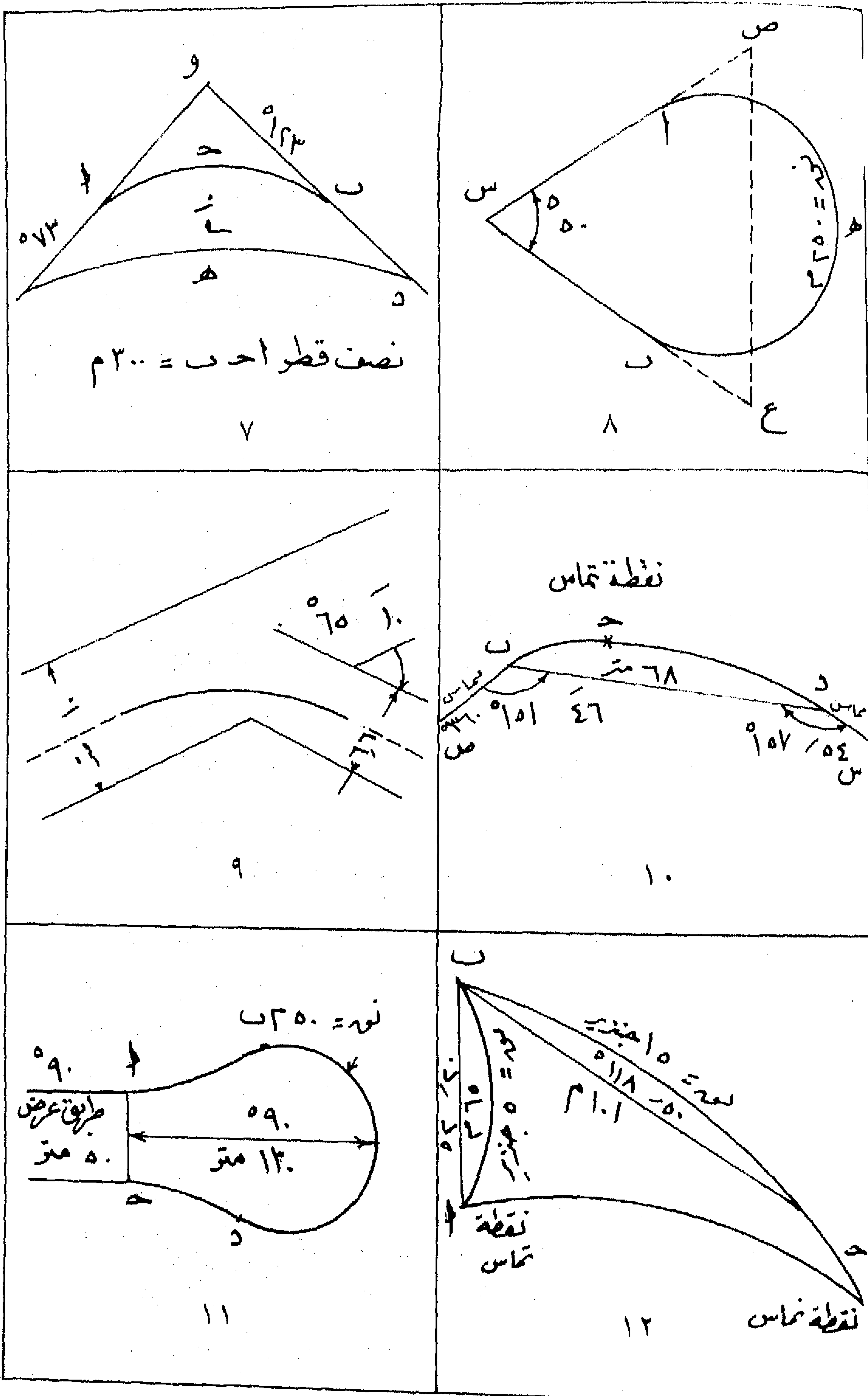
٨ ـــ قطعة أرض محددة بالمماسين س ا ، س ب ، المنحنى الدائرى ب هـ ا ، يراد تعديل الحدود بحيث تصبح المثلث س ص ع ، وتظل المساحة بدون تغيير ويكون طول الحد س ص = ٧٠٠ متر . أوجد مقدار امتداد الحد ا ص .

٩ ـــ طريقان عرضاهما ١٠ ، ٦,٦ مترا يتقاطعان فى زاوية قدرها ١٠′ ٥٦٥ . يراد إنشاء خط ترام على إتجاه محورهما ويصلهما منحنى دائرى يبعد عن الركن ا بمقدار ٢,٥ متر مقاسة فى إتجاه قطرى بالنسبة للمنحنى ما مقدار نصف قطر المنحنى .

١٠ ـــ ب حـ منحنى دائرى موجود نصف قطره ٥ جنازير ومماس للخط ب ص عند ب . ء س خط مستقيم موجود حددت عليه نقطة التماس ء . أحسب نصف قطر المنحنى الدائرى ء حـ الذى له مماس مشترك مع المنحنى الأول ب حـ عند حـ . أحسب أيضاً أطوال المنحنيين ب حـ ، حـ ء ، انحراف الوترين ب حـ ، حـ ء .

١١ ـــ الشكل يبين محطة نهاية لترام بمنحنى نصف قطره ٥٠ مترا . يراد إيصال الطريق بمنحنيين توسيع ا ب ، حـ ء . أوجد نصفى القطرين ا ب ، حـ ء .

١٢ ـــ من الشكل أوجد نصف قطر المنحنى ا حـ .


و
حـ
ب
ا
م
هـ
د
نصف قطر احـ ب = ٣٠٠ م
٧
ص
س
٥٠
هـ
ب
ع
٨
٦٥
٩
نقطة تماس
حـ
ب
د
٦٨ متر
٤٦
ص
س
١٠
طريق عرض
٥٠ متر
١٤٠ متر
حـ
د
١١
ب
نقطة تماس
حـ
نقطة تماس
١٢

١٣ ــ المنحنيان الدائريان ا ب ، ا ى يتماسان عند ا . فإذا كان طول ا ب = ٢٠٠ متر فما طول المنحنى ا ى علماً بأن نصف قطر ا ب = ٤٠٠ متر .

ج ــ ا ى = ١٢٢,٨٦ .

١٤ ــ المنحنيان ا ب ، ب حـ يتقاطعان فى ب . ب س ، ب ص مماسان للمنحنيين عند ب . س ب ص = ٢٠′ ٢٢° . ا حـ على خط المركزين . أحسب الفرق بين طولى المنحنيين . أحسب أيضاً نصف قطر المنحنى ب حـ .

ج ــ الفرق = ٣٤,٧٩ .

١٥ ــ ا ، حـ نقطتا التماس على ا ب ، ب حـ . س نقطة التماس المشتركة بين القوسين ا س ، س حـ . نصف قطر المنحنى ا س = ٥٠٠ متر . أوجد نصف قطر المنحنى س حـ ، الطول الكلى للقوسين معاً .

ں = ٩٩٩,٩٩٣ ، ١٤١٥,٤ م .

١٦ ــ ركن شارع أنشىء فيه منحنى مركب ا حـ ب مماساه ، ا ى ، ب ى . المنحنى ا حـ طوله ١٥٧,٠٨ ونصف قطره ٣٠ وطول المماس ا ى = ١٧٥ وانحرافه ٠٠′ ٩٠° وانحراف ى ب = ٠٠′ ١٤٤° . أوجد طول ى ب ، ونصف قطر المنحنى حـ ب ، وطول القوس حـ ب .

ج ــ ى ب = ٢٢٤,١ ، نصف قطر حـ ب = ٥٠٧,١٦ ، حـ ب = ٢١٢,٤ .

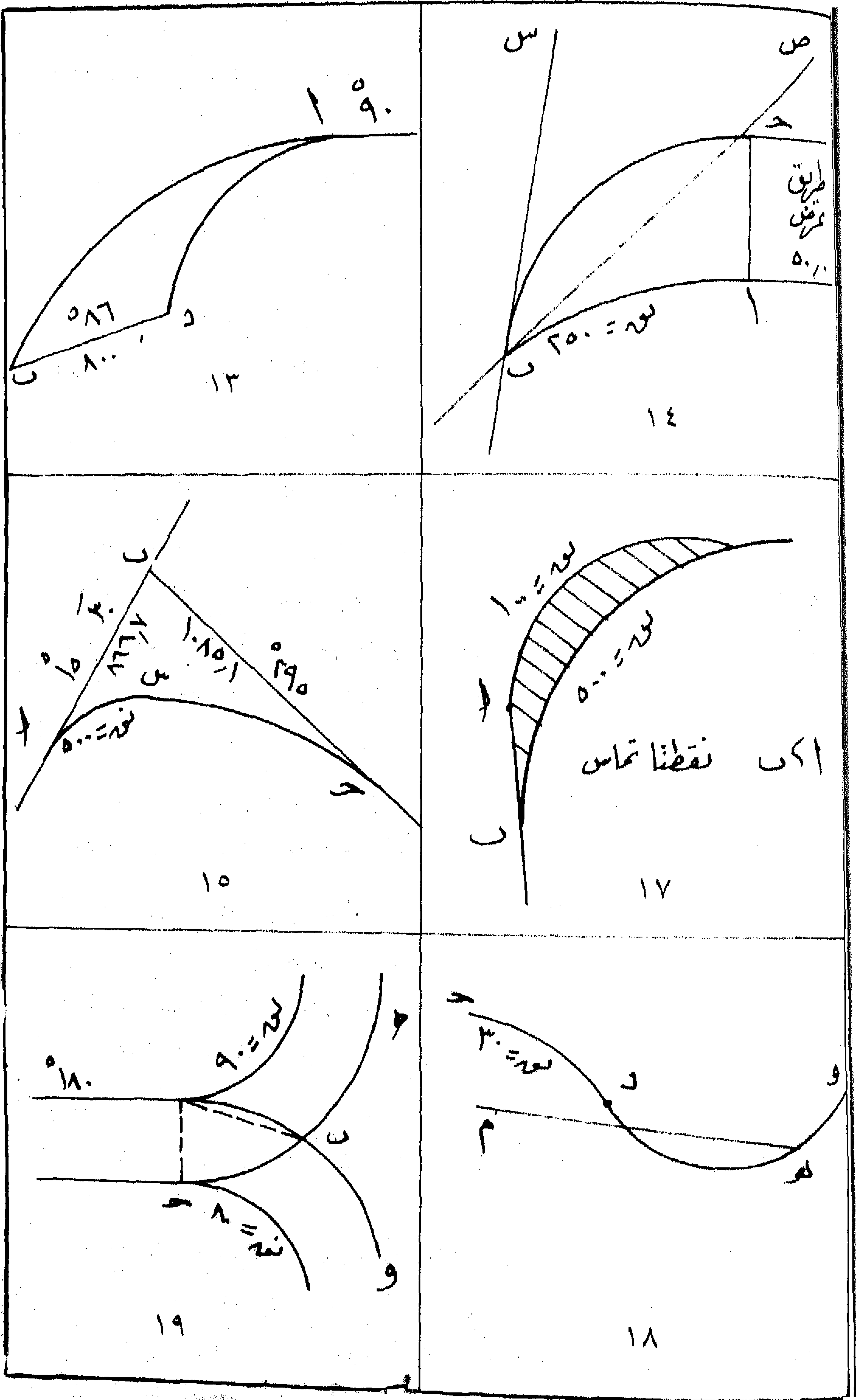
١٧ ــ من المعلومات المبينة أحسب المساحة المظللة .

١٨ ــ حـ ب ى يراد إيصاله بالخط المستقيم هـ و بمنحنى عكسى ى هـ . ى ليست من الضرورى أن تكون على الخط م هـ ، م هى مركز المنحنى حـ ب ى ونصف قطره ٣٠ جنزيراً . انحراف هـ م = ٠٣′ ٣٠٨° وطوله ٥٨,٤١٥ جنزيراً . انحراف هـ و = ٩٠° . أوجد نصف قطر المنحنى هـ ى .

ج ــ ں = ١٩,٠٣ .

١٩ ــ طريق عرضه ١٠,٠ مترا يتفرع عند ا ب إلى طريقين منحنيين كما فى الشكل : انحراف محور الطريق المستقيم ١٨٠° . ا ، حـ نقطتا التماس من المعلومات المبينة . أحسب انحراف وطول ا ب .

ج ــ طول ا ب = ٣٠,٨٢٢ ، انحرافه = ٣٤″ ٥١′ ٩° .



١٣
١٤
١٥
١٧
١٩
١٨

٢٠ ــ ا ى ، ا هـ مماسان لميدان مستدير مركزه حـ . الزاوية حـ ب هـ = ٤٢° ، الزاوية هـ ا و = ١٥٦° ، ا ب = ٣٣٣ . ما نصف قطر الميدان .

ج ــ س = ٩٤,٨٢ .

٢١ ــ ا ى ب منحنى عكسى يقطع الطريق المستقيم ا ب فى ا ، ب . ى نقطة التماس المشتركة . نصف قطر المنحنى ا ى = ٣٠٠ ، ونصف قطر ى ب = ٤٠٠ مترا . فإذا كان انحراف وطول الوتر ى ب هى ٠٠ ′ ١٧٢° ، ١٠٠ متراً وانحراف ا ب = ١٣٦° . أوجد المساحة المحصورة بين المنحنى العكسى ا ى ب والخط المستقيم ا ب .

٢٢ ــ ا ب ، حـ ى خطان مستقيمان بحيث أن ا ، ى على جانبى مماس مشترك ب حـ ، يراد إيصال الخطين بمنحنى عكسى نصف قطره س .

فإذا فرض أن الزاويتين ا ب حـ ، ب حـ ى هما ٤٠ ′ ١٤٨° ، ٢٠ ′ ١٣٩° على الترتيب وطول ب حـ يساوى ١٦,٢٨ جنزيراً . أوجد نصف القطر المشترك وتدريج نقطتى التماس ونقطتى التماس المشتركة . الاتجاه من ا إلى ى وتدريج ب = ١٤٥,٢٠ جنزيراً .

ج ــ س = ٢٥ ، ١٣٨,١١٨ ، ١٥١,٨٥٩ ، ١٦٩,٦٠١ جنزير .

٢٣ ــ منحنى ا ب حـ نزع ملكية الجزء المحصور بين الوتر ب حـ والمنحنى . أوجد مساحة هذه القطعة من المعلومات المبينة فى الشكل .

٢٤ ــ الشكل يبين مساحة مظللة يراد اقتطاعها من قطعة الأرض من مجموعة المبانى لإنشاء طريق بواسطة منحنى نصف قطره ٦٠٠ متراً . من المعلومات المبينة أوجد طولى القوسين ا حـ ، ب حـ ، المسافة ا ب على حدود المجموعة . الانحرافات مبينة فى الشكل .

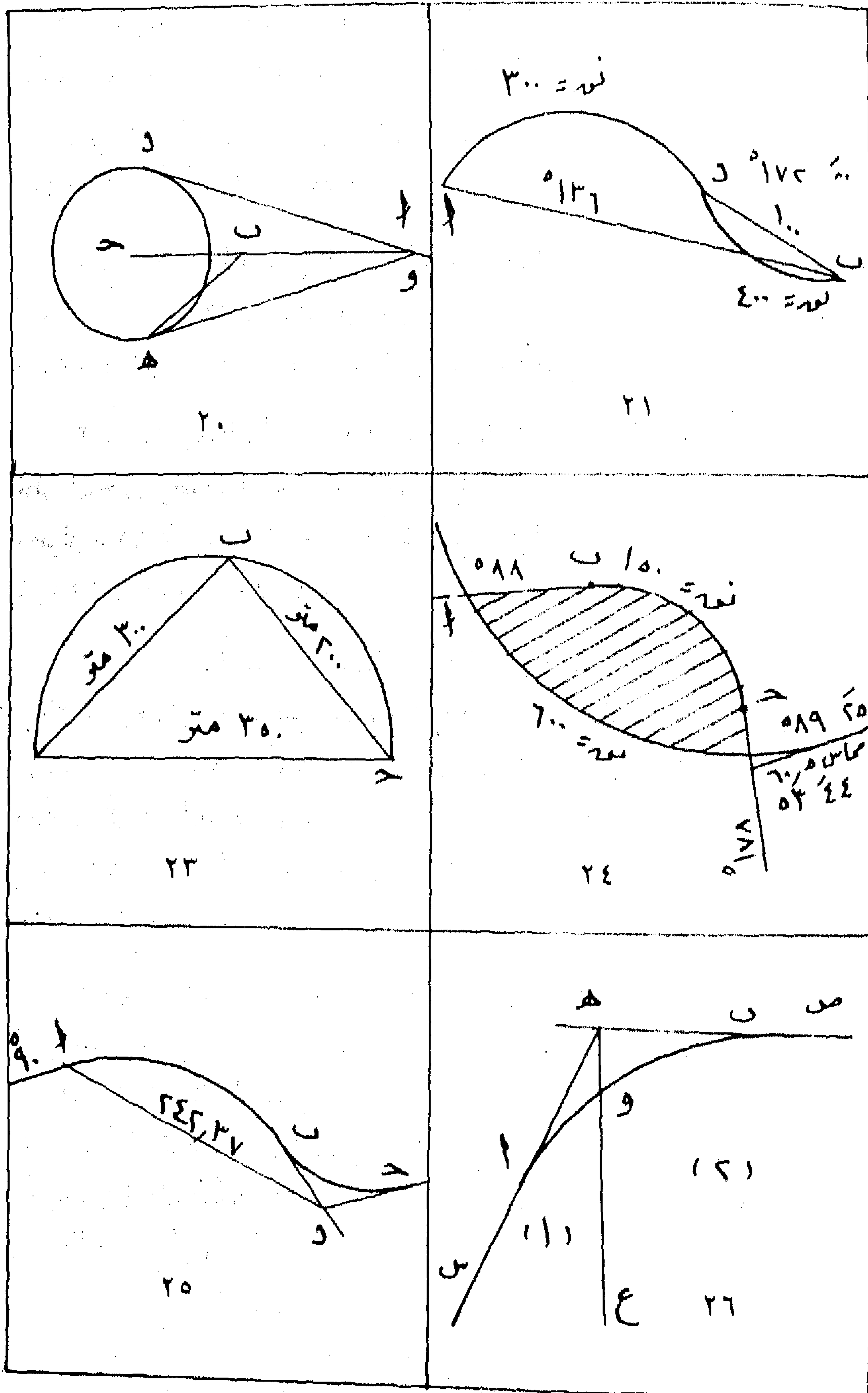
ج ــ القوس ا حـ = ٣٠,٩٧ م ، القوس ب حـ = ١٩,٧٢٥ م ، ا ب = ١٤٠ م .

٢٥ ــ من المعلومات المبينة فى الشكل أوجد نصفى قطرى المنحنيين ا ب ، ب حـ ، وطولى القوسين ا ب ، ب حـ . انحراف ى ب = ٥٠ ′ ٣٢٧° وطوله ١١٢,٣٨ م ، وانحراف ى حـ = ٤٠ ′ ٧٧° .

س ا ب ، ب حـ = ١٤٢,٥٢ ، ١٦٠ ، القوس ا ب = ١٤٣,٨٦ م ، القوس ب حـ = ١٩٠,٩٤

٢٦ ــ س هـ ، هـ ص طريقان يحدان القطعتين (١) ، (٢) على الترتيب . يراد إدخال المنحنى ا ب الذى يمس الحدين عند ا ، ب . أوجد نصف قطر المنحنى الذى يمر بنقطة و التى تقع على الحد الفاصل بين القطعتين وتبعد بمقدار

٩,٧٥ م عن هـ علماً بأن انحراف س هـ = ٣٠° ، هـ ص = ٩٠° ، والحد هـ ع = ٣٠′ ١٨٤° . ج – ش = ٤٩,٩٦ م .



٢٧ ــ فى الشكل ا ، ب ، حـ ، ء نقط التماس من المعلومات المبينة أوجد انحراف ب حـ . ج ــ انحراف ب حـ = ٥ْ ″ ١٣′ ١٣٤°

٢٨ ــ منحنيات عكسية نصف قطر كل منها ٣٠,٠ م يراد تخطيطه لتفادى العقبة عند حـ بمقدار ١٥ مترا تماماً . أوجد المسافة ا ب .

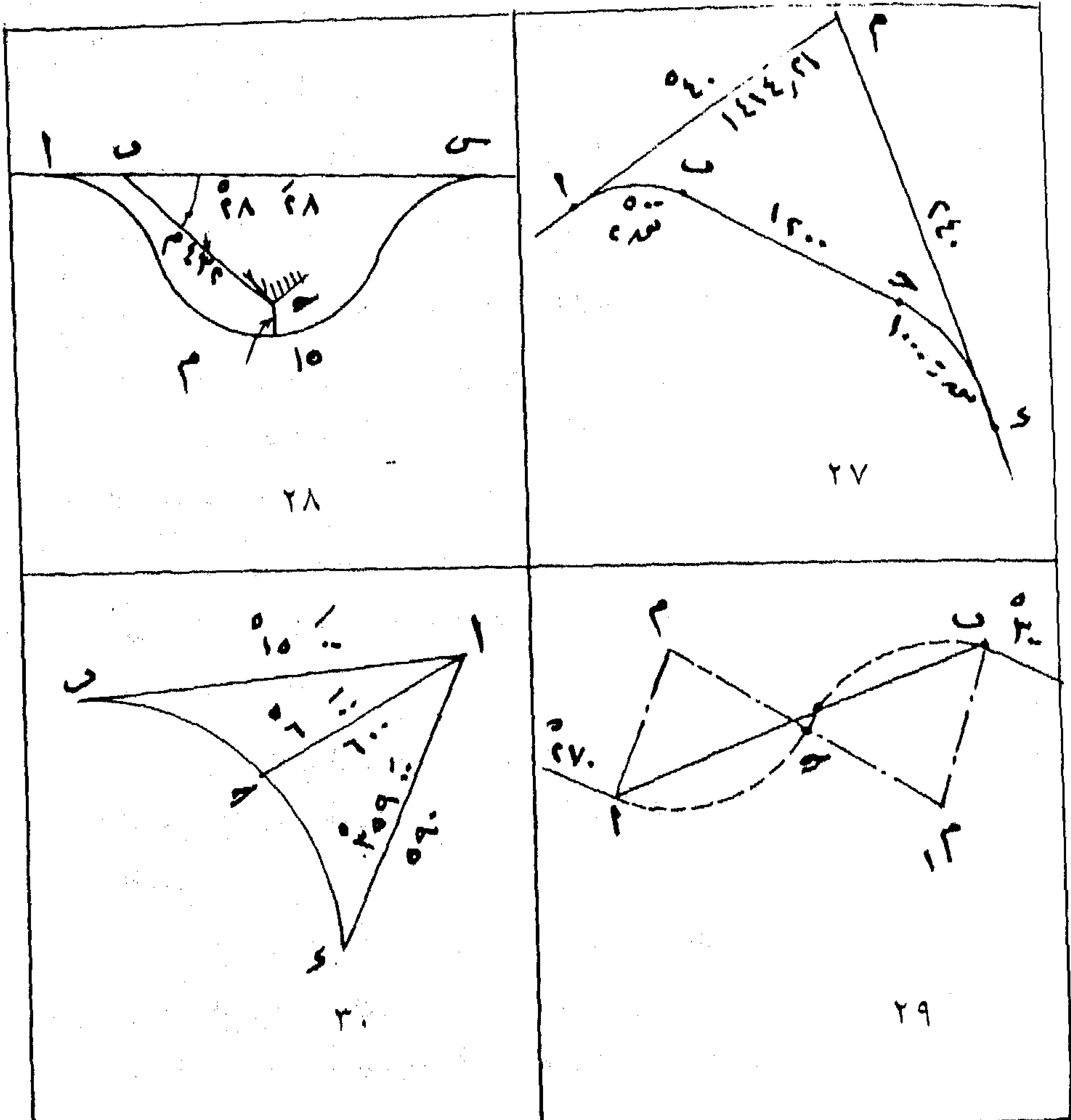
ملحوظة : (ا ب س خط مستقيم ، من حـ إلى قمة المنحنى عمودية على هذا الخط) . ج ــ ا ب = ٨٥,٣١ م .

٢٩ ــ ا ب نقطتا تماس ثابتتان . طول وانحراف ا ب هو ٣٦٣,٣ قدماً ، ٣٠″ ٢٤′ ٢٥٩° . يراد إيصال ا ب بمنحنى عكسى بنصفى قطرين متساويين (م حـ = م١ حـ) ما طول نصف القطر . ج ــ نق = ٢٠٠ .

٣٠ ــ يراد إيصال ا ب ، ا ء بمنحنى دائرى يمر بنقطة حـ . أوجد نصف قطر المنحنى وطول ا ب . لو كان انحراف ا ب = ٥١° ، ا حـ = ٦٣° وطوله ٢٧٥ إنحراف ا ء = ٩٠° كم يكون طول نصف القطر ا ب (نق = ١٣٤,٨ ، ا ب = ٣٧٨٩) . ج ــ نق = ١٣٤,٨ ، ا ب = ٣٧٨٩ .

٣٠ مكرر[١] ــ ا ب حـ ء مضلع فيه الأطوال ا ب ، حـ ء هى ١٥٠ متر ، ٢٠٠ متر وطول ب حـ غير معلوم والانحرافات ا ب ، ب حـ ، حـ ء هى ٥٥′ ٦٩° ، ٠٠′ ٣٠° ، ١٠′ ١٠٢°.من نقطة هـ رصدت ا ، ب ، حـ ، ء فكانت الزوايا ا هـ ب ، ب هـ حـ ، حـ هـ ء على التوالى ٣٠′ ٢٠° ، ٣٠′ ١٦° ، ٠٠′ ٤١° أحسب طول ب حـ ، انحراف كل من هـ ا ، هـ ب ، هـ حـ ، هـ ء .

٣٠ مكرر[٢] ــ ب س حـ خط أفقى مستقيم طوله ٨٠ جنزير . ب س = ٣٠ جنزير ، س حـ = ٥٠ جنزير . رصدت قمة جبل (م) من ب ، س ، حـ فكانت زوايا الارتفاع ٣٠′ ٥٤° ، ١٢′ ٥٦° ، ١٠′ ٤٦° على الترتيب . ا نقطة أخرى احسب ارتفاع م ا فوق ب ، س ، حـ إلى أقرب ديسمتر إذا علم أن الزوايا م ب ا = ٣٠′ ٥٤° ، م س ا = ١٢′ ٥٦° ، م حـ ا = ١٠′ ٤٦° .



٣١ ــ ا ى حـ ملعب سباق مستدير نصف قطره ١٠٠ متر ومركزه ب . من تيودوليت فى هـ قيست الزاوية ا هـ حـ بين المماسين فكانت ٥٤° . نقل الجهاز إلى و على ب هـ فكانت الزاوية ا و حـ = ٧٦° . ما بعد التيودوليت فى و عن س تقاطع ا و مع الملعب .

٣٢ ــ من المعلومات المبينة فى الشكل أحسب مساحة القطعة ا ب حـ هـ ا حيث ب حـ عمودى على ا ب . ج ــ الجواب ٩٠,٨٣ .

٣٣ ــ مماسان ا ب ، ب حـ يتقاطعان فى زاوية ٣٠′ ٦٣° . ا ى ، ى هـ ، هـ و ، و حـ عبارة عن أربعة أوتار تقع على منحنى يمر بنقطتى ا ، حـ . نصف قطره ٤٠٠ قدم . أحسب طول وانحراف كل من الأوتار إذا علم أن إنحراف ب حـ = ٣٠′ ١٢٣° . ج ــ ١١٠,٤٧ .

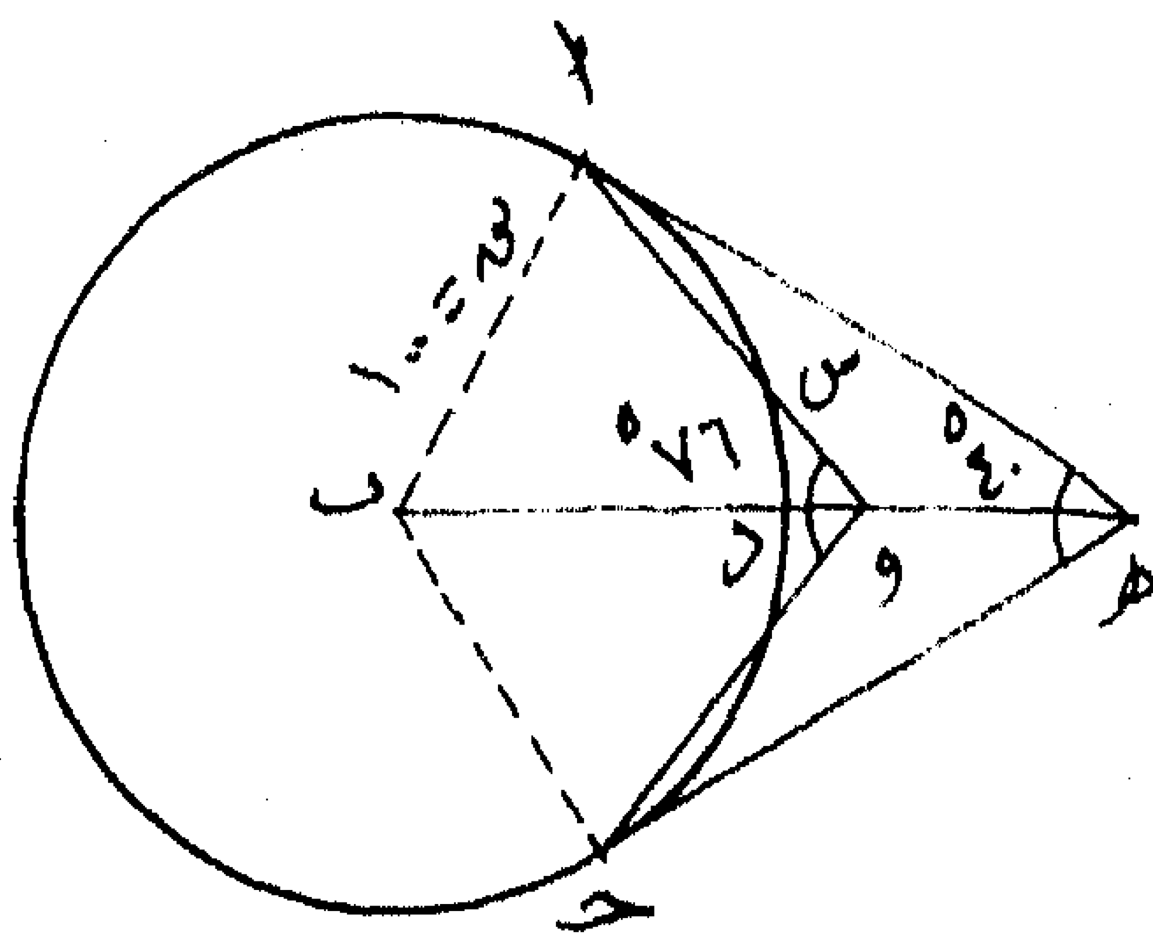
٣٣ م ــ المساحة ا ب حـ ى محصورة بين طريقين والمنحنى نصف قطره جنزير واحد ٢٠ متر . مساحة القطعة عبارة عن فدان واحد وطول حـ ى = ٤ جنازير . أوجد طول ا ب .

٣٤ ــ يراد إيجاد نصف قطر منحنى سكة حديد حيث ب نقطة التماس على المنحنى . قيست المسافتان ا حـ ، ا ى فكانتا كما فى الشكل . أوجد نصف قطر المنحنى .

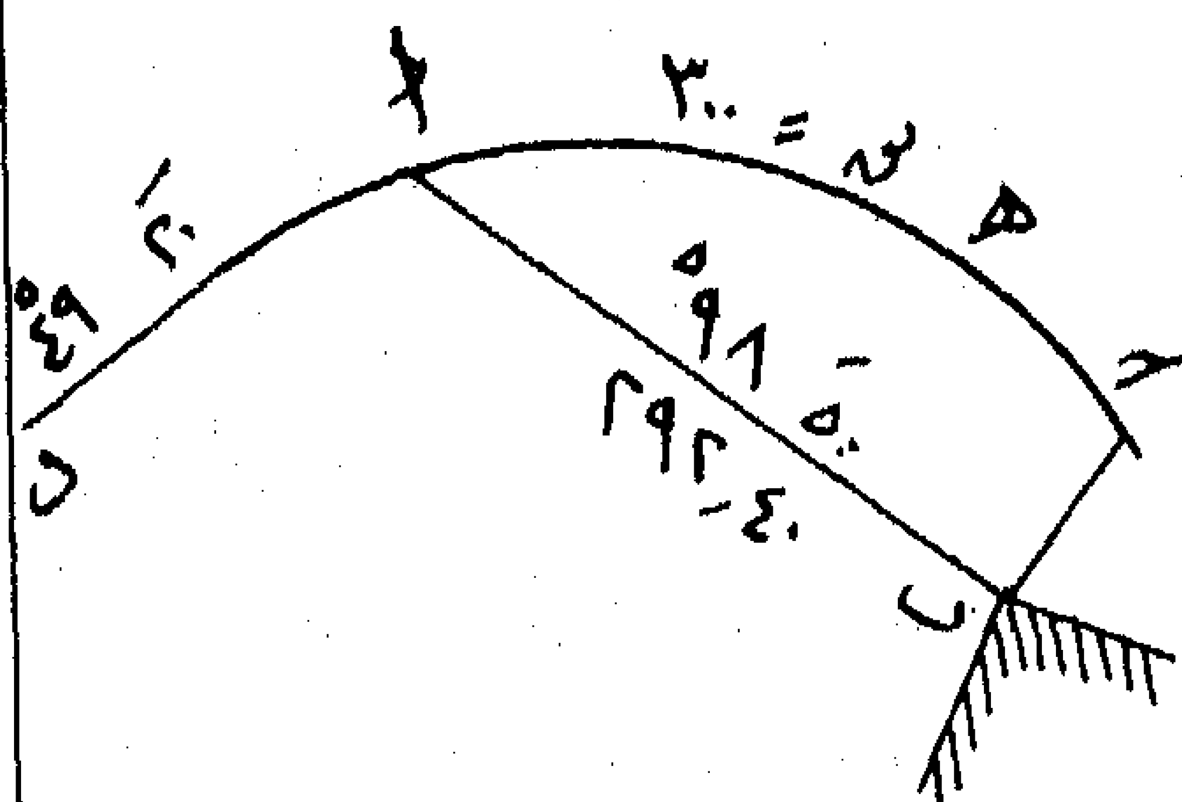
٣٥ ــ محورا خطى سكة حديد متوازيان يبعدان عن بعض ٣٠,٠٠ م كما فى الشكل يراد إيصالهما بمنحنيين نصف قطر كل منهما ٣٠٠ م وبينهما مسافة مستقيمة ى هـ . أوجد انحراف وطول ى هـ ، وطول كل من المنحنيين .

ــ ى هـ = ٣٠″ ٤٥′ ٧٨° ، ٩٤,٨٦ م ، القوسين ٧٥,٦٦

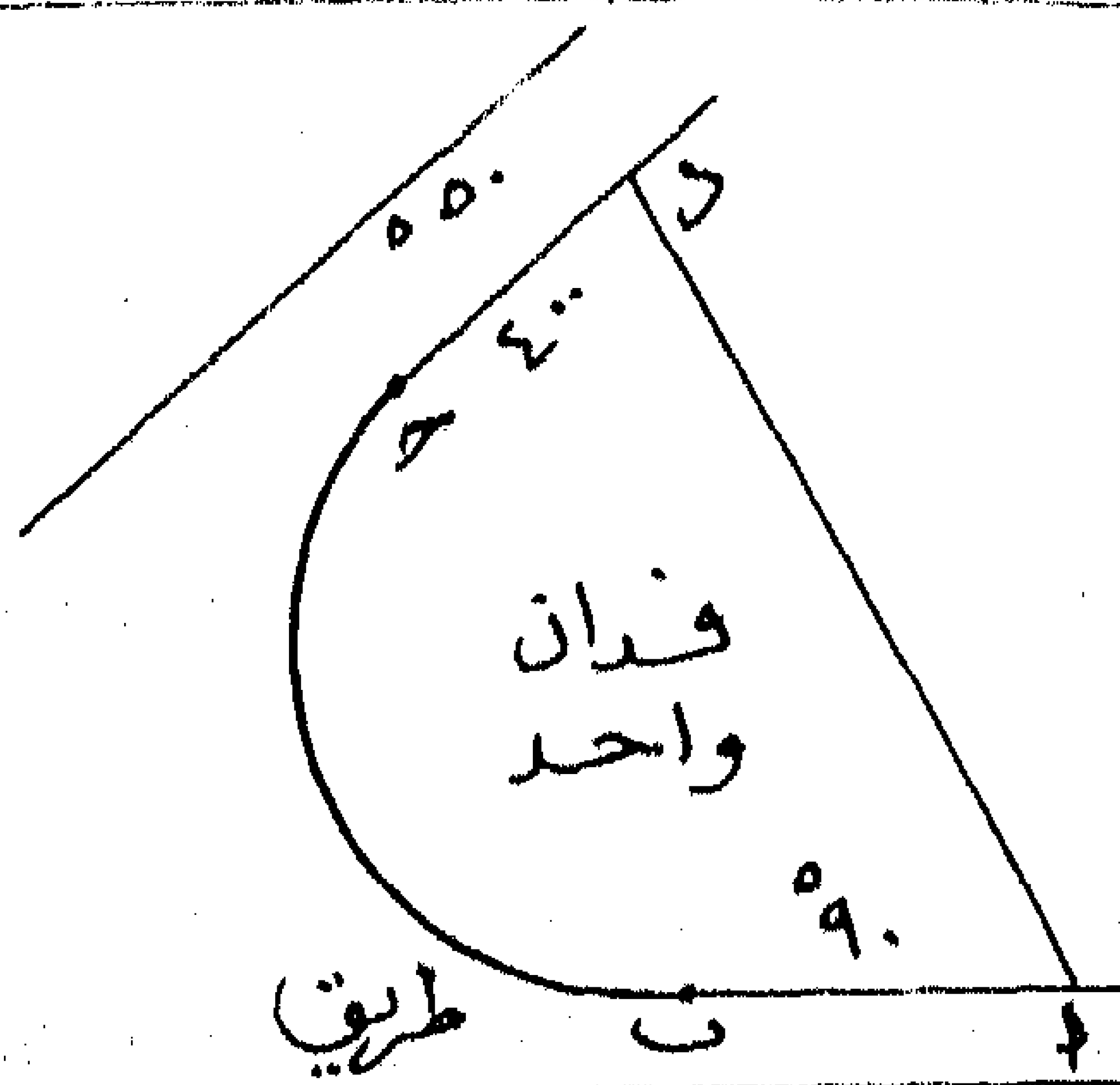
٣٦ ــ منحنى نصف قطره ٣٠٠ متر وجدت أوتار عليه عند ا ، ب ، ى . قيس طول الوتر ا ى فكان ٦٩,٥٣ م فإذا قطع ب و الوتر ا ى فى هـ بحيث أن ب هـ = ١٤,٠ م ، ا هـ = ١٧,٥ م . أحسب طول وانحراف الخط و حـ اللازم لتعيين نقطة حـ على المنحنى والتى تبعد ١٠ متر عن ب على المنحنى . ج ــ و حـ = ٥٣′ ٢٠٤° ، ٨٨,٩٣٧ م



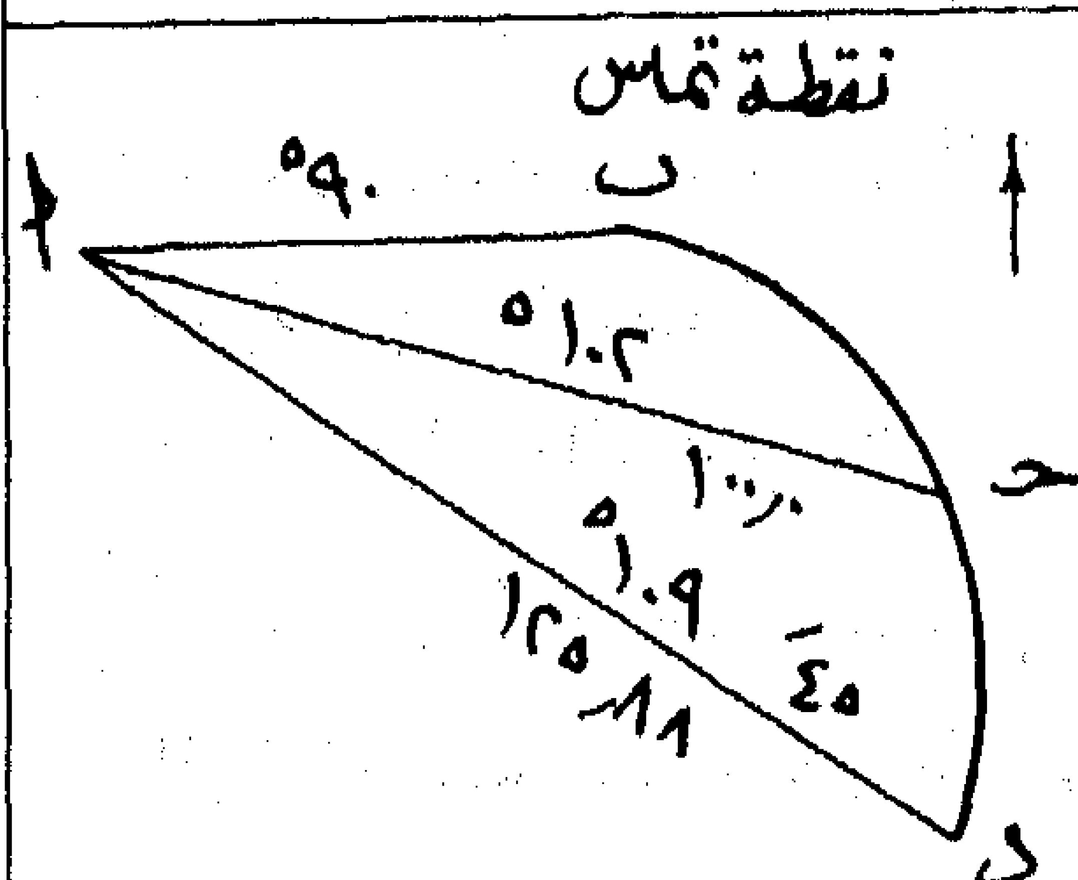
٣١



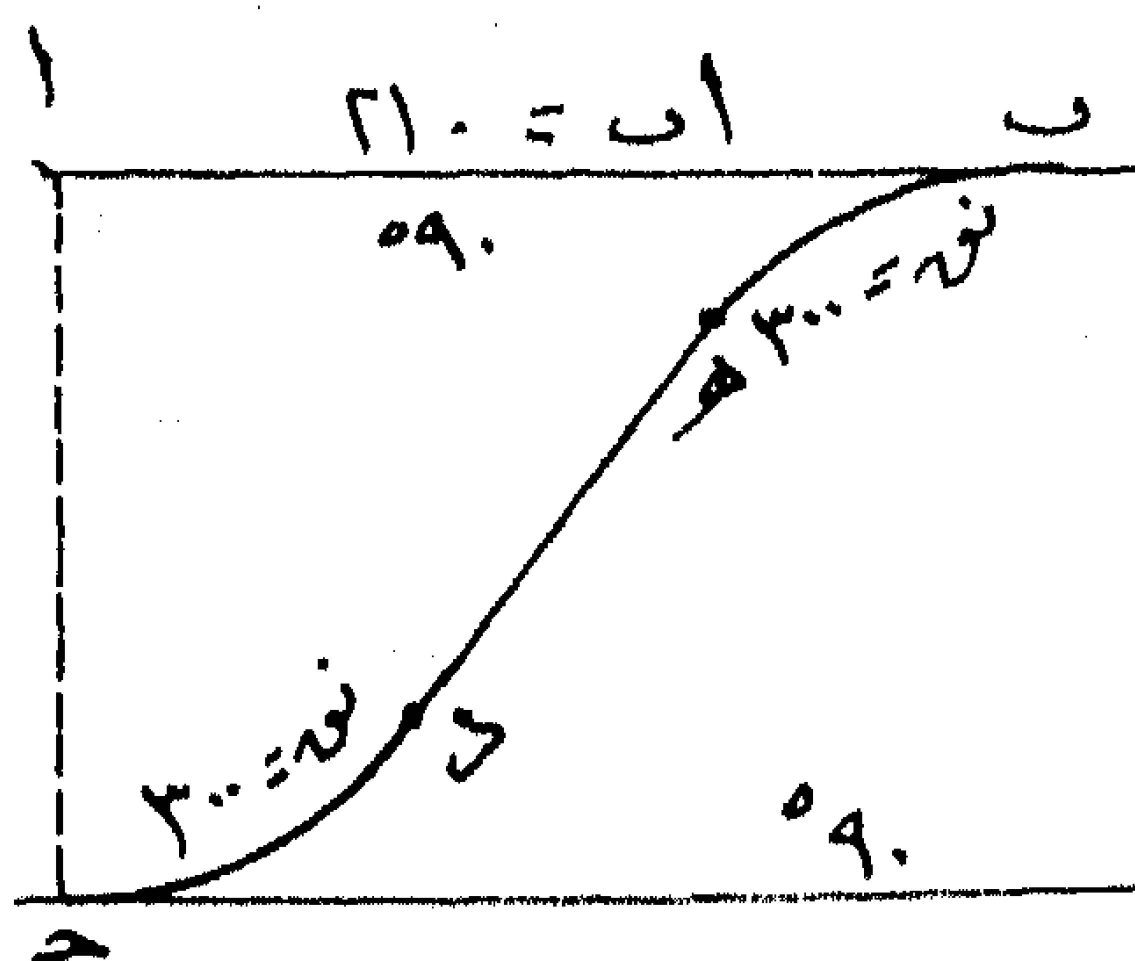
٣٢



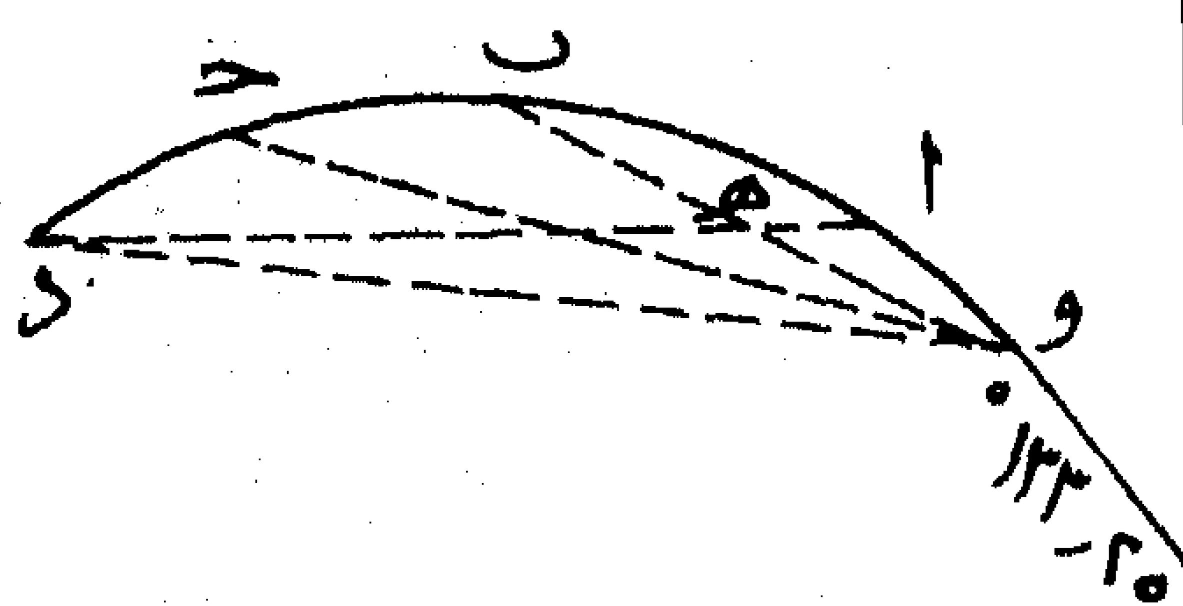
٣٣ مكرر



٣٤



٣٥



٣٦

٣٧ ـــ يراد توقيع منحنى سكة حديد دائرى يمس المستقيم ا ب كما فى الشكل ويمر بنقطة المحطة حـ . أوجد نصف قطر المنحنى ج ــ ى = ١٤٠,٥٢

٣٨ ـــ ملعب رياضى يراد توقيعه كما فى الشكل متماثلاً حول المحورين ا ب ، م هـ . ما طول السباق وطول المحور م هـ ، ى ، هـ ، و ، حـ نقط التماس . ج ــ ٢٣٠٣,٨٤ ، ٦٥٣,٦٠ .

٣٩ ـــ يراد إيصال المنحنى حـ ب ى بالخط و ا ب بواسطة منحنى نصف قطره ١٠٠ متراً وبحيث يكون مماساً عند ا ، هـ . أحسب المسافة ا ب ، وطول المنحنى ا هـ . الزاوية و ب ى = ١٥٠°، حـ ب ى = ١٣٠° .

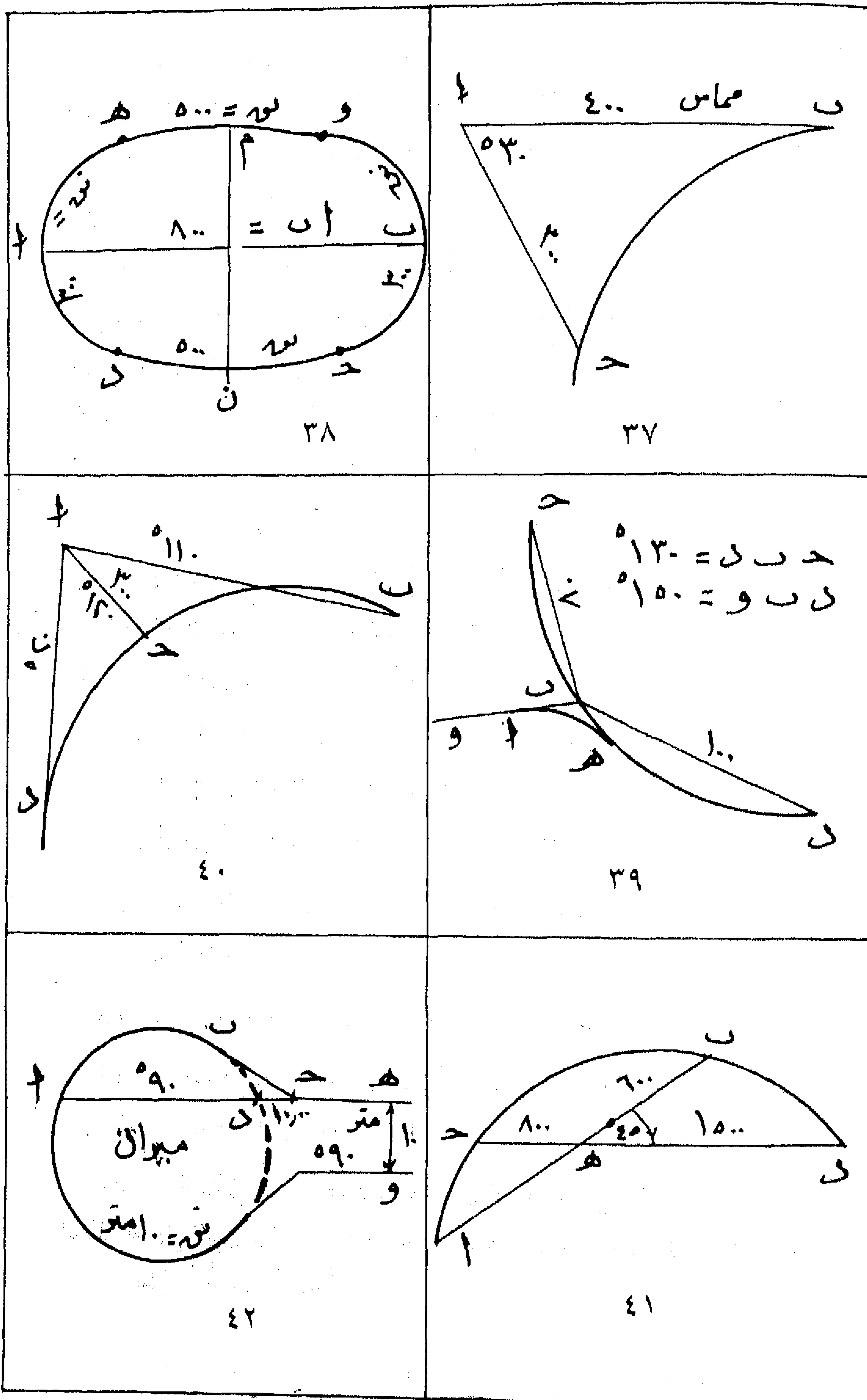
ج ــ ا ب = ٤٤,٤٥ م ، ا هـ = ٧١,١ م .

٤٠ ـــ منحنى فيه ى نقطة التماس ، حـ ، ب نقطتان تقعان عليه . أحسب المسافة ا ى . نصف قطر المنحنى ا ب = ٧٠١,٢ م وانحرافه ١١٠° انحراف ى ا = ٢٠° وانحراف ا حـ = ١٢٠° وطوله ٣٠٠ متر .

٤١ ـــ ا حـ ب ى منحنى سكة حديد فيه ا ب ، حـ ى وتران بالأبعاد المبينة أحسب نصف قطر المنحنى وطول ا هـ . ج ــ ١٧٦٥,٦ .

٤٢ ـــ الشكل يبين طريق عرضه ١٠ أمتار ينتهى بموقف عربات دائرى نصف قطره ١٠٠ م ، ومركزه يقع على إمتداد محور الطريق جانب الطريق ب حـ مماس للمنحنى عند ب . ى تقع على نفس المنحنى وتبعد عن حـ بمقدار ١٠ م . ا ى حـ هـ خط مستقيم . أحسب طول القوس ا ب . ا ب = ١٣,٢٩٥

٤٢ مكرر ـــ ا ب حـ ى هـ قطعة أرض مساحتها ٥٠ فدان . الزوايا هـ ا ب ، ا ب حـ ، ب حـ ى ، حـ ى هـ هى على التوالى ٣٠″ ٤٣′ ٦٣°، ٣٠″ ٢٣′ ١٢٠° ، ١٩′ ١٧١° ، ٣٠″ ٢٨′ ٩٣° وطول ب حـ ، حـ ى هى على التوالى ٢٧٨,٠ ، ١٢٧٤ متر . أوجد أطوال ى هـ ، هـ ا ، ا ب .



٣٧
مماس ٤٠٠
٥٣٠
٣٨
نق = ٥٠٠
ا ب = ٨٠٠
٣٩
حـ ب د = ١٣٠°
د ب و = ١٥٠°
١٠٠
٤٠
١١٠°
١٢٠°
٤١
٦٠٠
٨٠٠
١٥٠٠
٤٥°
٤٢
٩٠°
ميدان
متر
٩٠°
نق = ١٠ متر

٤٣ ـــ ا ، ب ، حـ ثلاث نقط قيست أبعادها وانحرافاتها من نقطة ء فكانت على الترتيب ٢٨٧° ، ٣٠٠ م ، ٣٣٤° ، ٢٤٠ م ، ٧٢° ، ٣٥٠ م . يراد إنشاء خط سكة حديد يمر بالنقط ا ، ب ، حـ أحسب نصف قطره .

٤٤ ـــ طريقان ا حـ ، هـ حـ يتقاطعان فى حـ . ب ط ء منحنى مركب يمس الطريقين فى ب ، ء على الترتيب . ط نقطة التماس المشتركة . أوجد نصفى قطرى المنحنيين ب ط ، ط ء إذا علم أن الزاوية ب و ء = ٩٠° والزاوية ب حـ ء = ٤٠° وطول المماس ب حـ = ٥٠٠,٠ وطول المماس حـ ء = ٤٠٠,٤٠ . (و) هى مركز المنحنى ب ط .

٤٥ ـــ طريق منحنى عرضه ١٠ م كما فى الشكل فيه حـ ء ، و ا عموديان على حدى الطريق وانحرافهما ٢٨° ، ٣٣٠° على الترتيب . أوجد انحراف الخط ب هـ الذى يجعل المساحتين ا ب هـ و ، ب حـ ء هـ متساويتين علماً بأن طول المنحنى و هـ ء = ٥٠,٦١٥ مترا .

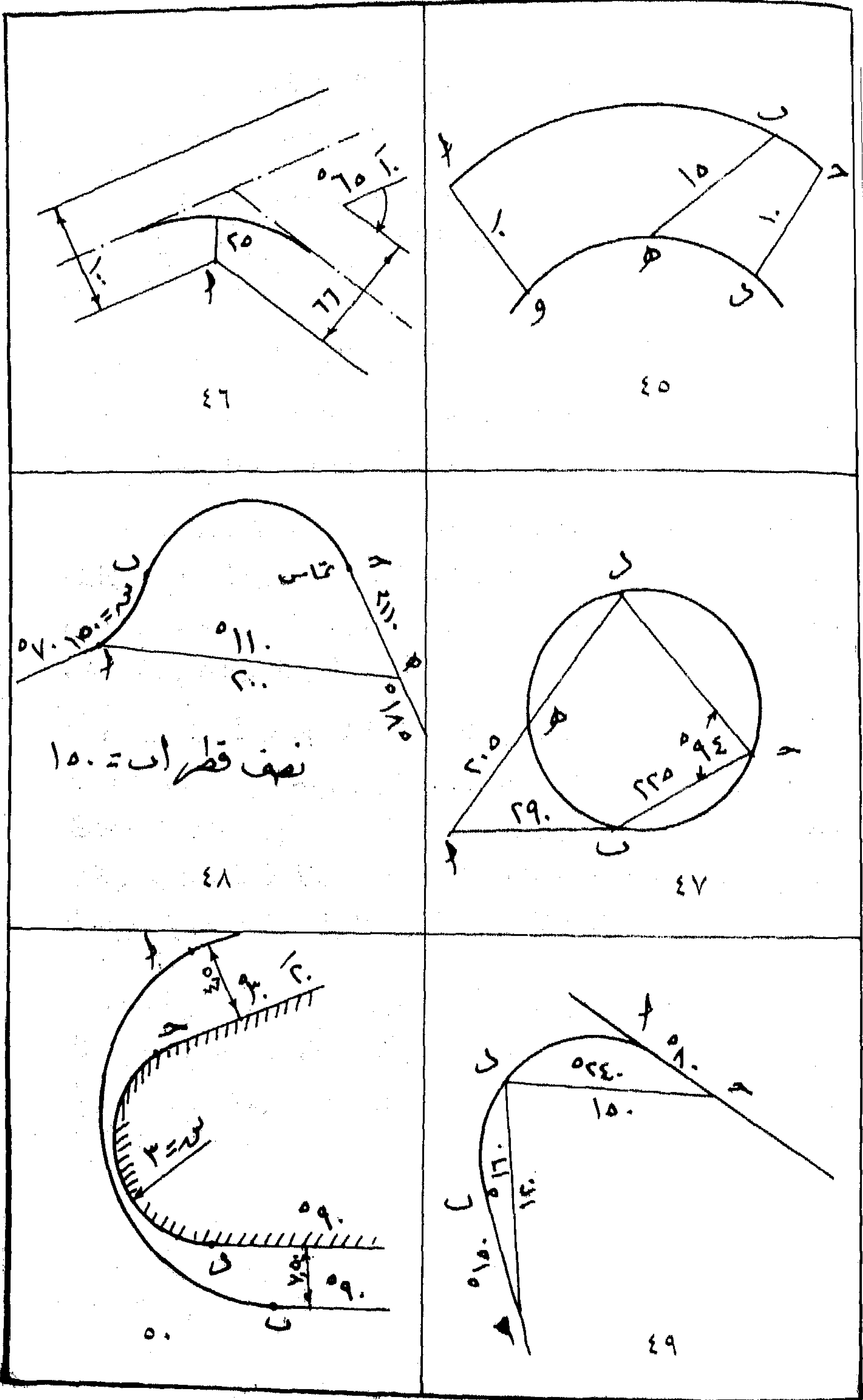
٤٦ ـــ طريقان بعرض ١٠٠ ، ٦٦ قدماً يتقاطعان فى زاوية قدرها ٦٥° ١٠′ كما فى الشكل . يراد إيصال محوريها بمنحنى دائرى ليمر ببعد ٢٥ قدماً من الركن ا ، على أن تقاس هذه المسافة قطرياً . أوجد نصف القطر .

٤٧ ـــ من المعلومات التى فى الشكل أوجد طول كل من حـ ء ، هـ ء ونصف قطر الدائرة . ج ـــ هـ ء = ٢٠٥,٢٤ ، حـ ء = ١٣٥,٠ .

٤٨ ـــ من المعلومات المبينة . أحسب نصف قطر المنحنى ب حـ .

٤٩ ـــ ا ب ء منحنى دائرى يمس ا حـ ، ب هـ عند ا ، ب من المعلومات المبينة أوجد نصف قطر المنحنى والبعدين ا حـ ، ب هـ .

٥٠ ـــ الشكل يبين رصيف جديد يراد عمله على المنحنى ا ب . وفى انتظار تعديل المبانى يراد أن يحتفظ بعرض رصيف ١,٥ متر على الأقل . أوجد نصف قطر الرصيف ا ب .


٤٥
٤٦
٤٧
٤٨
نصف قطر اب = ١٥٠
٤٩
٥٠

٥١ ـــ ثلاث شوارع دائرية عرض كل منها ١٠ أمتار تتقابل كما فى الشكل . أوجد مساحة الجزء ا ب حـ .

٥٢ ـــ ا ب هـ جزء من الوجه الخلفى لسد منحنى (arch) ، حـ ء و جزء من الوجه الأمامى هـ و ع م الخط الذى يقع عليه مركزا الوجهين ع ، م أحسب أبعاد السد ا حـ ، ب ء .

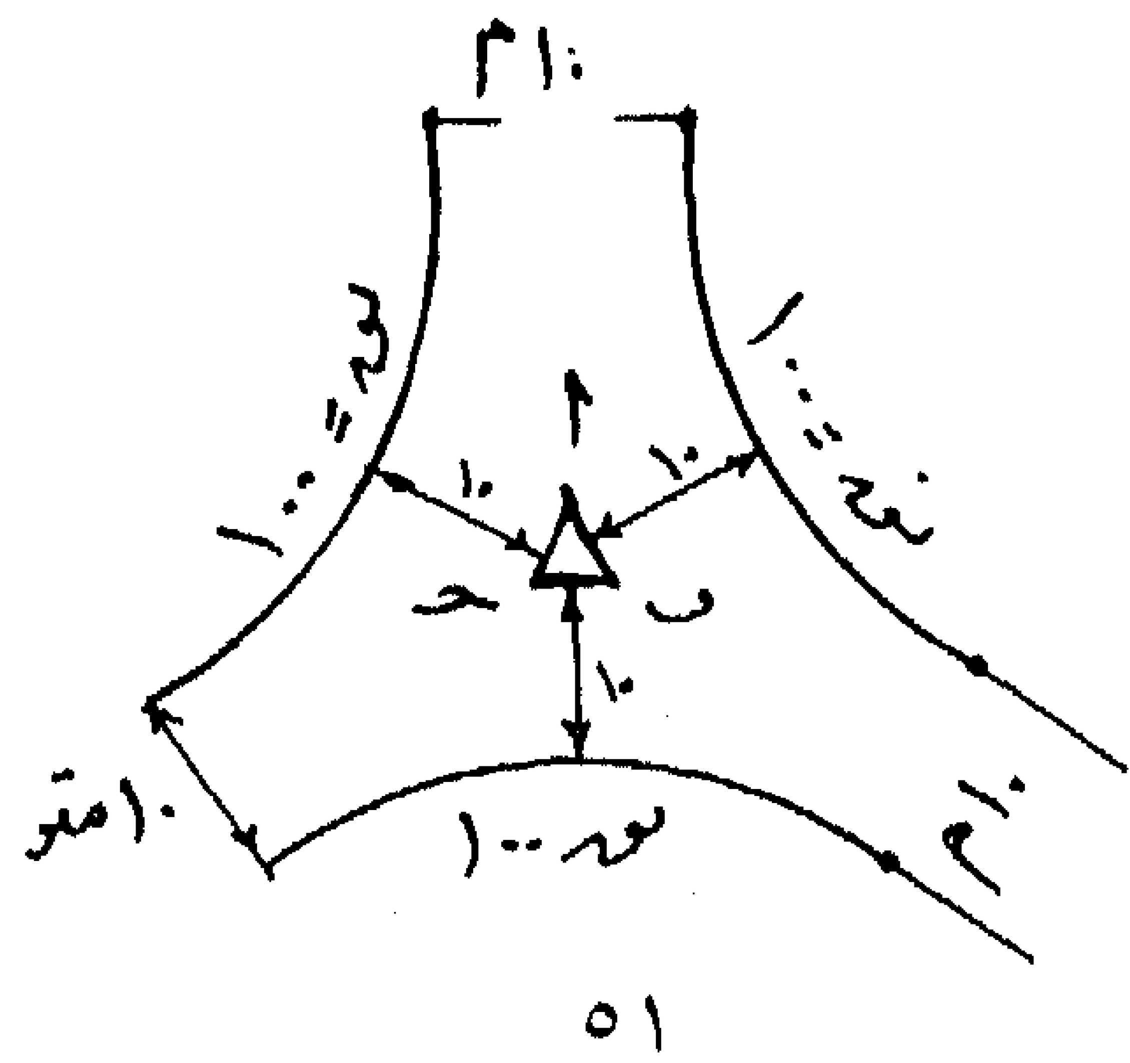
٥٣ ـــ أحسب طول وانحراف المسافة بين نقطتى التماس و ، ب .

٥٤ ـــ من المعلومات المبينة أوجد نصف قطر المنحنى و ء حـ الذى يمس كل من المنحنى ل حـ ، الخط و ل ، ويمر أيضاً بنقطة ء .

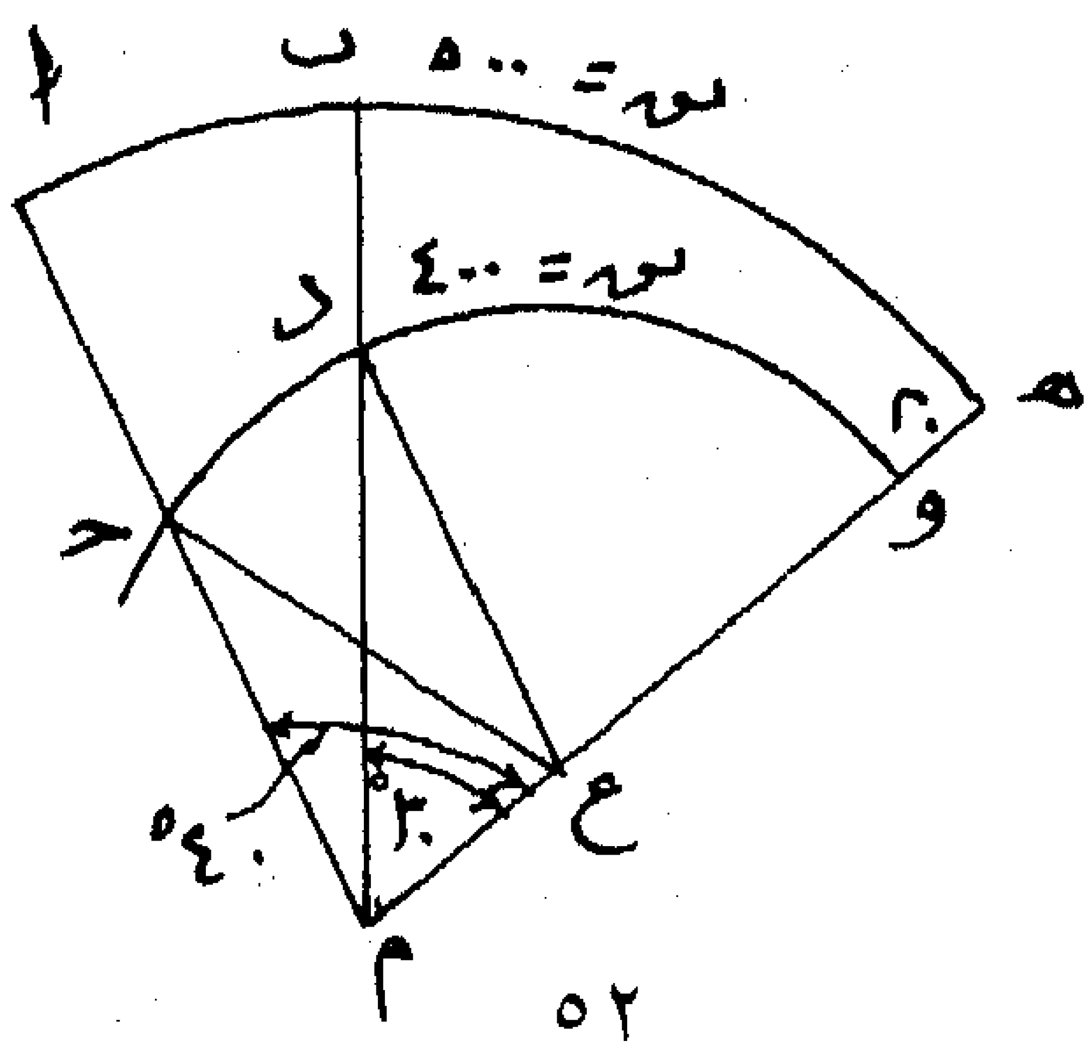
٥٥ ـــ حدود قطعة أرض عبارة عن منحنى نصف قطره ١٨٠ مترا ويمر بنقطتى ا ، ب اللتين تبعدان بمقدار ١٢ ، ٩ مترا من حـ ، هـ على الترتيب (ا حـ ، ب هـ فى إتجاه قطرى) أحسب قيمة كل من الزاويتين ا حـ ء ، ء هـ ب ، وكذلك طول القوس ا ب .

٥٦ ـــ دقت أوتاد على طول محور قناة فى الاتجاه ا ب حـ هـ حيث الجزء ب حـ ء عبارة عن منحنى بسيط نصف قطر ١٨٠ متراً . ثم أريد تعديل التخطيط بحيث يعدل إتجاه ء و إلى ع ط ثم تعديل المنحنى البسيط إلى منحنى مركب حيث ل نقطة تماس مشتركة وبحيث ل = ٢٠٥ م مقاسة على طول المنحنى . أوجد نصف قطر المنحنى ل ع وكذلك المسافة و ع .

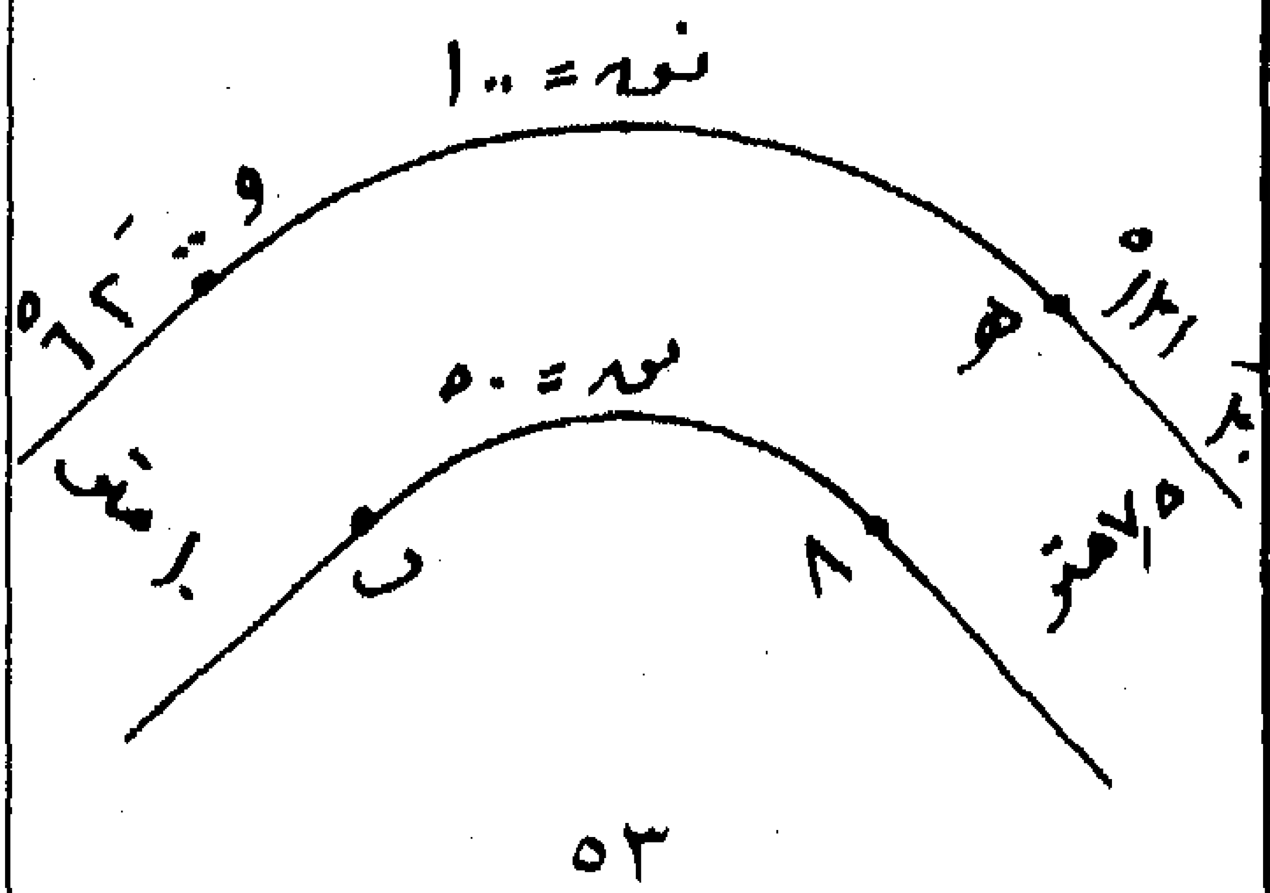
٥٦ مكرر ـــ فى توقيع المنحنيات غالباً أن يفرض طول الوتر يساوى طول القوس المقابل له . والمطلوب الآن ألا يتجاوز الخطأ ١ : ٢٠٠٠ من هذا الغرض . أوجد أقصى نصف قطر أو الدرجة التى يمكن معها استعمال أوتار كل منها جنزيراً واحداً .



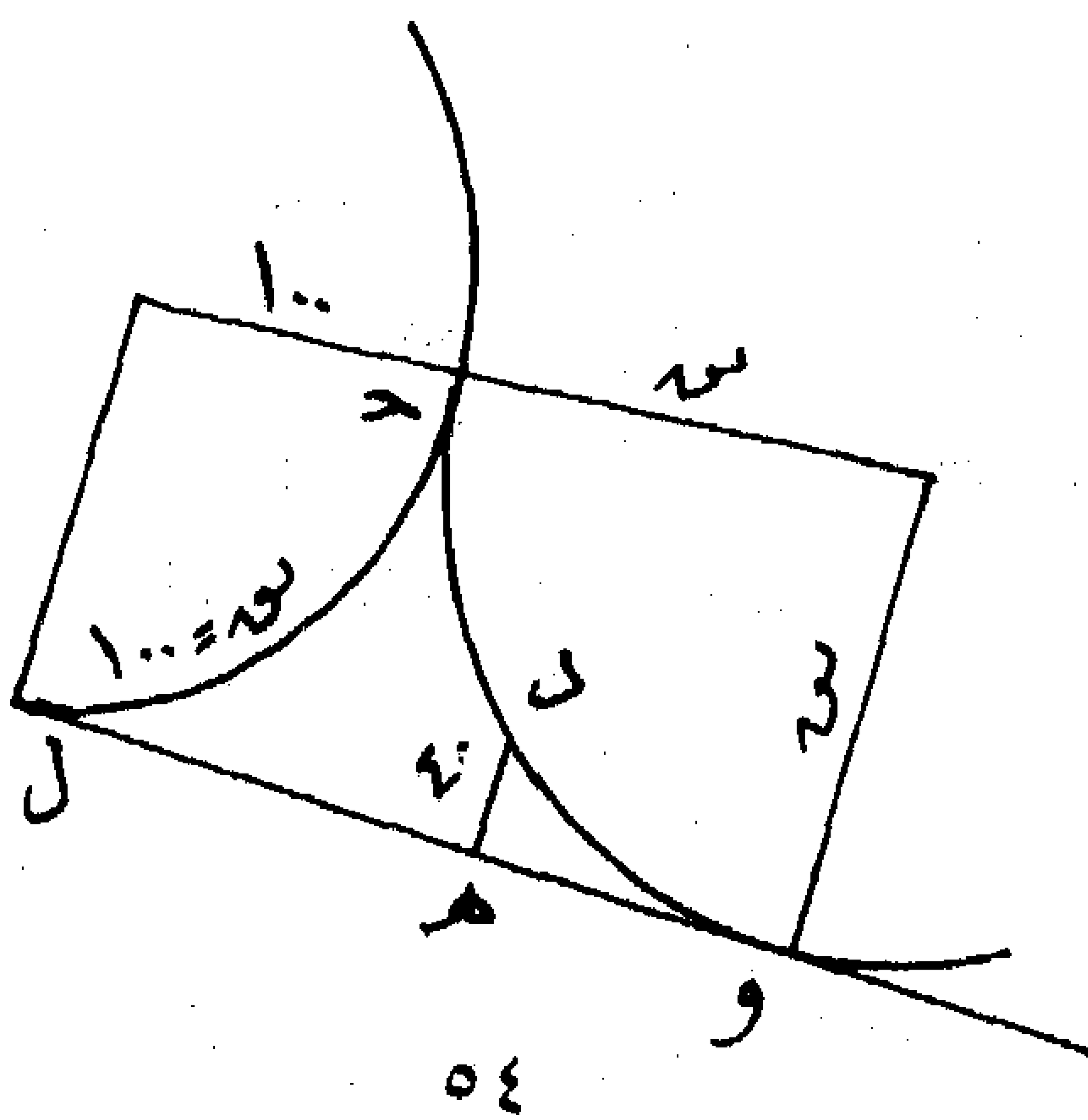
٥١



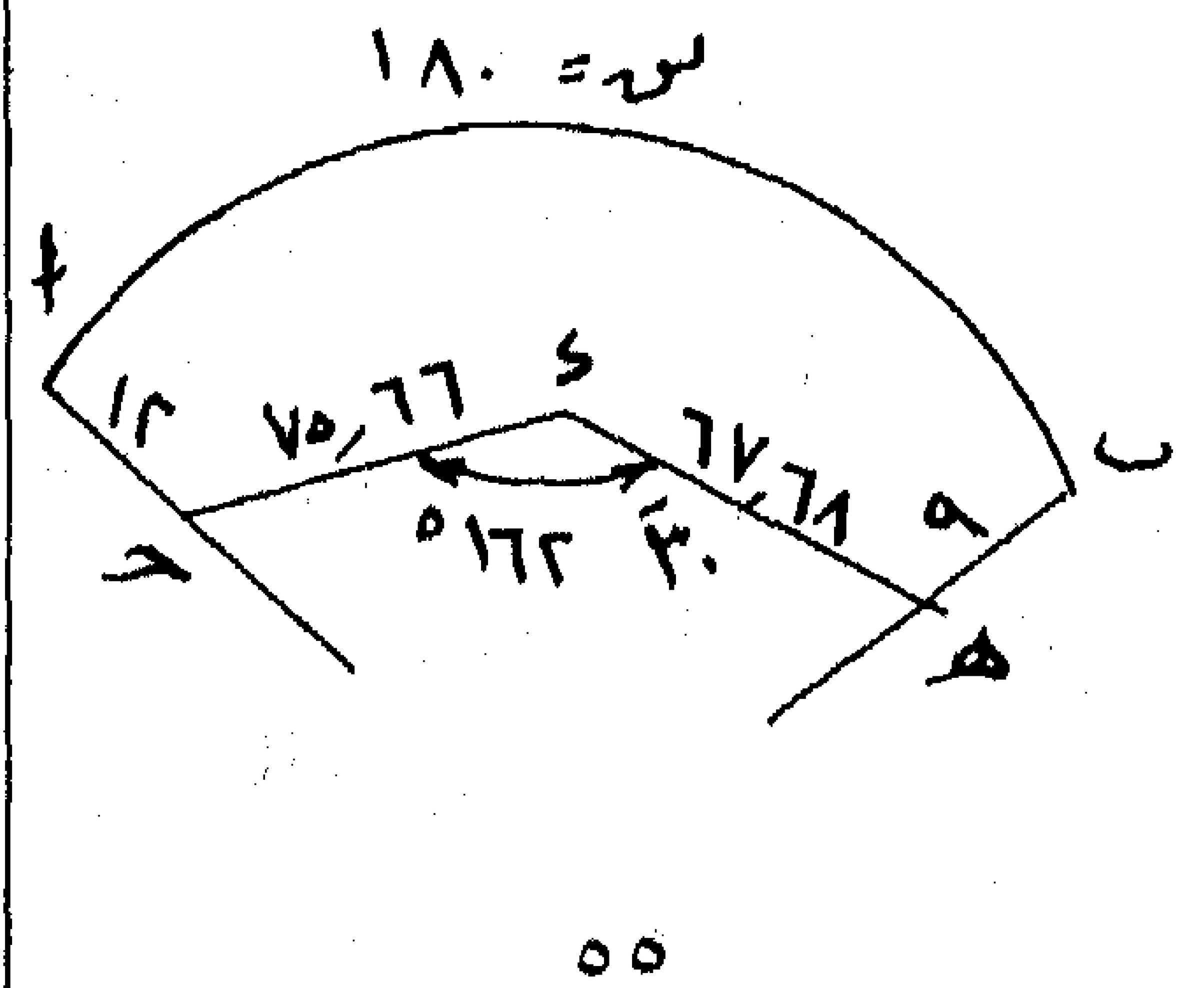
٥٢



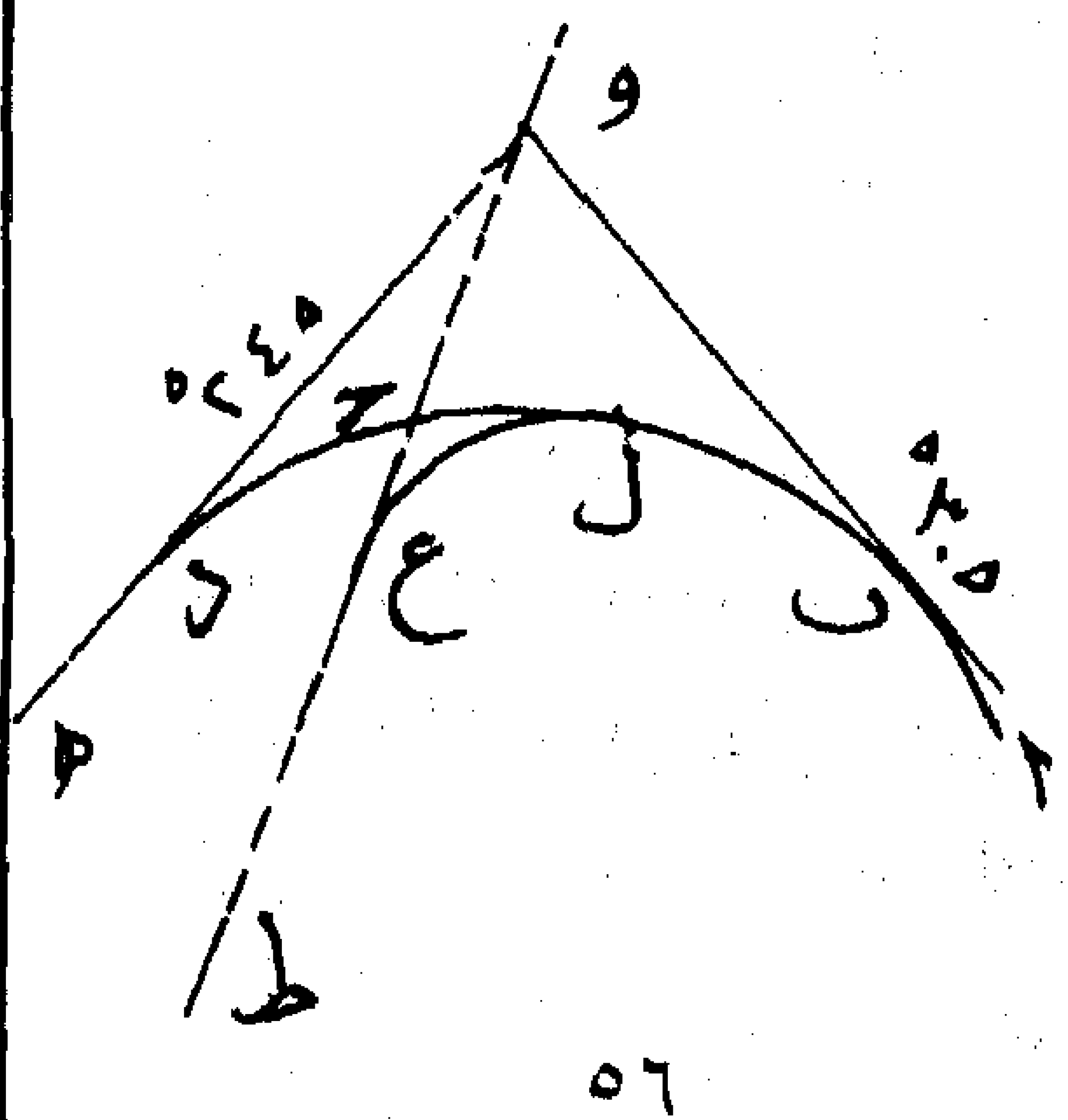
٥٣



٥٤



٥٥



٥٦

٥٧ ـــ أجرى الترافرس الآتى حول مجموعة من المبانى التى تعترض الخط ا ى ، وكانت الأرصاد كما يلى :

الخط	الطول (بالمتر)	الانحراف الدائرى
ا ب	٢٠٠	٣٩ ′ ١٤١°
ب حـ	٥٨٠	٤٦ ٧٥
حـ ى	٨٢	٥٢ ٣٤٨

أحسب مقدار الزوايا ب ا ى ، حـ ى ا ، وأحسب أيضاً طول الخط ا ى ، وانحرافه .

ج ـــ المركبة الأفقية للخط ا ى = ٦٦,٢٤ ، ص = ٦٧٠,٤٥ ، انحراف ى ا = ١٥ ′ ٨٤° حـ . غ ، ا ى حـ = ٢٣ ′ ٩٥° ، ب ا ى = ٢٤ ′ ٥٧° .

٥٨ ـــ من نقطة س التى احداثياتها ٨٤٦ متراً جنوباً ، ١٢٣٧٤ شرقاً خطط خط انحرافه ١٢ ′ ٤٩° ، ومن نقطة ص التى احداثياتها ١٠٢٦ جنوباً ، ١٥١٨٨ شرقاً خطط خط انحرافه ٣٦ ′ ٢٢٥° . أحسب احداثيات نقطة تقاطع هذه الخطين . أحداثيات ع الافقى ١٣٩٠٨ شرقاً ، الرأسى = ٨٣٨ شمالاً ..

٥٩ ـــ مثلث ا ب حـ مساحته ١٠ أفدنة ، فيه طول القاعدة ب حـ = ١٠٠ متر وانحرافها ٢٦٨° والحد حـ ا انحرافه ٢٣٧° . فإذا كانت احداثيات نقطة ب هى ـــ ٨٢٤,٨٩ ، + ٤٥١,٥٤ فما طول وانحراف الحد ب ا واحداثيات نقطة ا .

٦٠ ـــ مجموعة من المبانى فى مصنع ، يراد وضع ماسوره صرف عند ا ب لتصرف فى مصرف عند ى ، ويراد معرفة الطول اللازم للماسورة ، ولهذا الغرض شكل المضلع ا ب حـ ى ، وقيس طول ا ب فكان ١٠٧,١٢ مترا ، ب حـ = ٦٢,١٨ مترا ، حـ ى = ١٢٦,٨٤ مترا ، والزاوية ا ب حـ = ١٥ ′ ٧٦° ، والزاوية ب حـ ى = ١٢ ′ ١٠١° . أحسب (أولاً) طول الماسورة ا ى وانحرافها إذا علم أن انحراف ا ب = ١٩٧° (ثانياً) قيمة كل من الزاويتين ى ا ب ، ا ى حـ اللازمتين لتوجيه الماسورة .

ج ـــ طول ا ى = ٦٤,٦ م وانحرافها حـ ٥١ ′ ٧٤° ق ، ى ا ب = ٠٩ ′ ١٢٢° ، حـ ى ا = ٢٤ ′ ٦٠° .

٦١ ـــ نفق مستقيم يراد توصيله بين نقطتين ا ، ب مع العلم أن الأحداثيات الخاصة به كما يلى :

النقطة ا : صفر شمالاً ، صفر شرقاً .
النقطة ب : ٣٠١٤,٠ شمالاً ، ٢٥٦,٠ شرقاً .
النقطة حـ : ١٧٦٤ شمالاً ، ١٣٩٨ شرقاً .

ويراد إسقاط ماسورة المدخل عند ء منتصف ا ب ، ولكن وجد أنه من المستحيل القياس على طول الخط ا ب مباشرة ، وبهذا رؤى انزال ء من ناحية حـ وهى عبارة عن نقطة ثالثة معلوم إحداثياتها أحسب (أولاً) أحداثيات نقطة ء (ثانياً) طول وانحراف حـ ء (ثالثاً) الزاوية ا حـ ء . علماً بأن انحراف ا حـ = ٢٤′ ٣٨° شمال شرق .

٦٢ ــ تيودوليت قطر حافته الأفقية ٥ بوصة . أحسب طول الأختلاف المركزى الناتج من عدم انطباق مركز الدائرة الأفقية ومركز دائرة الورنيات إذا كانت قراءة الورنية ا = ٤٠″ ١١′ ٠٠° بينما قراءة ب = ٤٠″ ١٢′ ١٨٠° .

٦٢ م ــ وضع تيودوليت على مسافة ١٠ متر من حائط وزاوية ارتفاع أعلى نقطة فيه ٥٠° . فإذا رصدت هذه النقطة العليا مرة والجهاز متياسر ومرة الجهاز متيامن ، وتحرك المنظار فى كلتى الحالتين من أعلى إلى أسفل حتى المستوى الأفقى حيث قطع قامة أفقية فى نقطتين على مسافة ٣٠ سم من بعضها . أوجد ميل المحور الأفقى .

٦٣ ــ وضع تيودوليت على أرض مستوية فى نقطة ا ورصدت نقطة ب على بعد ١٠٠ متر وكانت الآلة متيامنة ثم أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت حـ على بعد ١٠٠ متر من ا وأعيد الرصد على ب وكانت الآلة متياسرة . أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة جديدة ء على نفس المسافة من ا . فإذا كان حـ ء = ٣٠ سم فأوجد مقدار الخطأ فى انحراف خط النظر . ح ــ الخطأ = ٣٥″ ٢′ .

٦٤ ــ ترافرس ا ب حـ ء فيه أحداثيات النقطة ا هى ٣٣١,٢ غرباً ، ٥٤٢,٧ شمالاً ، أحداثيات ب هى ٥٨٧,٨ شرقاً ، ٧١٣,٠ شمالاً . الخط حـ ء يوازى الخط ا ب ، فإذا كان طول ا حـ = ٤٣٢,٠ متراً وانحرافه ١٤′ ٣٤٦° ، فما طول وانحراف ب ء . علماً بأن حـ ء = ١١٥٠ متراً .

٦٥ ــ مبين فى الجدول التالى الأطوال والانحرافات لترافرس مقفل أجرى من ا إلى و ، وكل حرف يرمز إلى خط . فإذا كان طول ب والنحراف هـ لم يرصدا . وكان اتجاه الخط هـ ناحية الجنوب الغربى تقريباً . المطلوب حساب المقادير المجهولة (الأحداثيات إلى رقم عشرى واحد فقط) .

الخط	الطول (متر)	الانحراف
ا	٥٠٠,٠	ش
ب	؟	ش ٠٠ ′ ٥٤٥° ق
حـ	٨٥٤,٤	حـ ٢٧ ٦٩ ق
ء	١٠١٩,٨	حـ ١٠ ١١ ق
هـ	١١١٨,٠	؟

ج ــ ل = ٨٨٩,٨ ، الانحراف = ٥٦ ′ ٢٥٨° .

٦٦ ــ فى قياس طول أضلاع ترافرس بالتاكيومترية وضعت علامتان على زاوية قائمة مع خط النظر من جهاز على أرض منحدرة . أوجد من المعلومات الآتية المسافة إلى س ، ل من الجهاز ومنسوب الأرض عند س ، ل . منسوب الجهاز = ١٢٠,٩ مترا وزاوية الأرتفاع إلى الهدف ل = ٠٠ ″ ٥٠ ′ وزاوية الارتفاع للهدف س = ٥٨ ″ ١٣ ′ والزاوية الأفقية المحصورة عند الجهاز بواسطة س ل = ٤ ″ ٤٤ ′ ٥١° . أرتفاع الأهداف عن الأرض = ٥,٦ متراً والطول المائل للمسافة س ل = ١٠٠ متر .

٦٧ ــ منسوب وتد من أوتاد عملية مساحية = ٣٤,٦ قدماً ، وضع فوقه جهاز تاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابته التاكيومترى = ١٠٠ وكان خط النظر منسوبه ١,٢٦ متر فوق منسوب الوتد . أخذت رصدة على قامة موضوعة رأسية فكانت زاوية الانخفاض ٤٥ ′ ٧° وقراءات الشعرات على القامة هى ١,٣٥ ، ٢,٢٠ ، ٣,٠٥ متر . تركت القامة فوق النقطة بينما نقل الجهاز إلى نقطة ب وأخذت منها رصدة إلى نقطة القامة وكانت زاوية الارتفاع فى هذه الحالة ٣٠ ′ ٩° وقراءات الشعرات ٠,٩٠ ، ١,٥٧ ، ٢,١٤ م . أحسب منسوب نقطة ب إذا كان ارتفاع خط النظر فوق الوتد فى النقطة ١,١٧ متر .

٦٨ ــ الخطان س ص ، ع و يراد إيصالهما بمنحنى درجته ٢٢ ′ ٥١٤ . نقطة تقاطع المماسين ومركز المنحنى يقعان في الماء كما أن المنحنى يمر بالمباني المبينة . طول كل من الأقواس ا ب ، ب ك ، ك ء يساوى ٣٠ متراً . فإذا كان تدريج نقطة تقاطع المماسين ٢٧٥,٣٥ جنزيراً . أحسب تدريج كل من ا ، ص ، و (أنظر الرسم في الحل) . أوجد أيضاً طول القوس ء هـ . (الوتر المستعمل طوله = ٢٠ متراً) .

٦٩ ــ تدريج نقطة ابتداء وانتهاء منحنى دائرى درجته ٥٢ هو ٣٢٠,٣٤ ، ٢٣٩,٧٥ . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زيدت زاوية التقاطع بإدارة المماس الثاني حول نقطة التقاطع خمس درجات ، أوجد تدريج نقطة التماس الجديدة للمنحنى .

٧٠ ــ الزاوية الداخلية ا ب حـ بين مماسين تساوى ٥١٢٠ ويراد ايصالهما بمنحنى دائرى يمر بنقطة ء التي تبعد عمودياً عن ا ب (المماس) بمقدار ء هـ = ٢٤ مترا والمسافة ب هـ = ٥٠٠ متراً . أوجد نصف القطر . وإذا كان تدريج نقطة التقاطع ١٥٠,٢٠ جنزيراً أوجد التدريج عند نهاية المنحنى .

٧١ ــ عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاماً أن يمر بنقطة تبعد ٥٠ قدماً عن نقطة التقاطع وعلى بعدين متساويين من المماسين . تدريج نقطة التقاطع ٢٨٠,٨٠ وزاوية التقاطع ٥٢٨ . أحسب نصف قطر المنحنى وتدريج ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

٧٢ ــ يراد عمل منحنى بين مماسين الزاوية الداخلية بينهما (زاوية تقابلهما) ٥١٠٣ ويمر بنقطة ط التي تقع على خط مستقيم يمر بنقطة حـ نقطة التقاطع ، وهذا المستقيم يصنع زاوية هـ = ٥١٣ مع المماس الأول ، علماً بأن المسافة حـ ط = ١٥٠ متراً . أوجد نصف قطر المنحنى .

٧٣ ــ منحنى مركب من قوس نصف قطره ٣٠ جنزيراً يتبعه آخر بنصف قطر يساوى ٤٠ جنزيراً . يراد إيصال المماسين اللذين زاوية تقاطعهما ٣٢ ′ ٥٨٤ بهذا المنحنى . مع العلم بأن تدريج نقطة تقاطع المماسين ٧٧,٦٤ جنزيراً ، وقد اختيرت نقطة ابتداء المنحنى عند ٤٥,١٤ جنزيراً . أحسب تدريج نقطة إتصال القوسين وتدريج نقطة انتهاء المنحنى .

٧٤ ــ منحنى مركب ا ب حـ لسكة حديد (ا ب حـ) نصف قطر القوس ا ب = ٦٠ جنزيراً ونصف قطر القوس ب حـ = ٤٠ جنزيراً . وقعت نقطة تقاطع المماسين الخارجيين وقيست زاوية التقاطع فكانت ٥٣٥ ′ ٦٠ . فإذا كان القوس ا حـ طوله ٢٠ جنزيراً . أحسب طول المماسين الأصليين .

٧٥ ــ عند توقيع منحنى مركب بقوسين نصفى قطريهما ٢٠ ، ٤٠ جنزيراً على الترتيب كانت زاوية التقاطع للقوس الأصغر ٩٠° وللقوس الآخر ٦٠° . قيس طول المماس المشترك ووجد أنه يساوى ٤٣ جنزيراً . أوجد مقدار زحزحة المماس المشترك الضرورية وفى إتجاه بحيث يكون موازياً لنفسه حتى يمكن توقيع المنحنى بدقة .

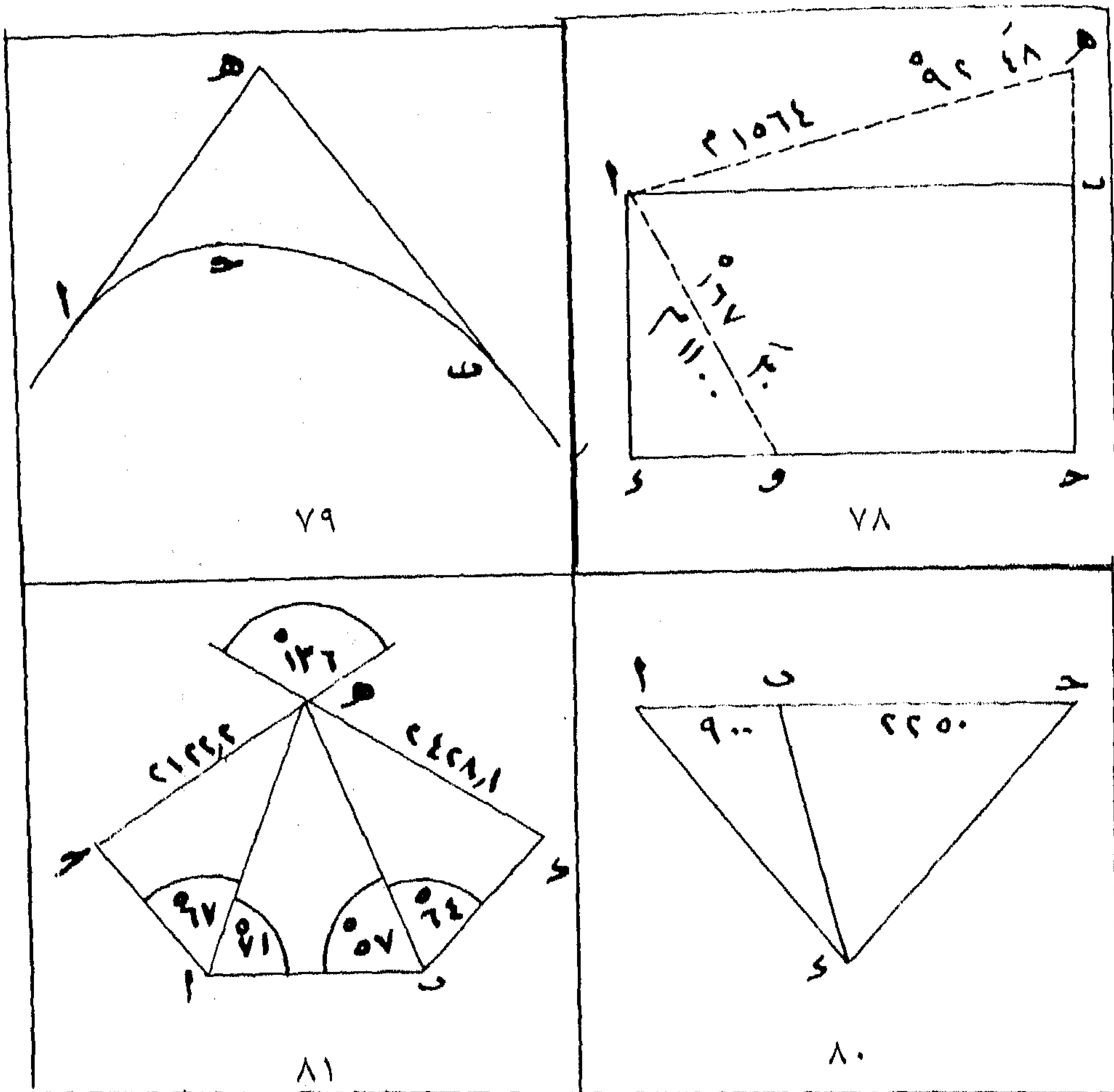
٧٦ ــ منحنى عكسى ا ب يراد توقيعه بين خطى سكة حديد متوازيين يبعدان ٥٠ متر عن بعضهما . فإذا كان نصفا القطر متساويين والمسافة بين نقطتى التماس ا ، ب تساوى ٤٠٠ متراً فأحسب نصف القطر .

وإذا كان يراد توقيع المنحنى بواسطة الأحداثيات من ا ب على فترات متساوية كل منها يساوية ٢٥ متراً على طول الخط ، أحسب أطوال هذه الأحداثيات المطلوبة إلى أقرب سنتيمتر .

٧٧ ــ أوجد مناسيب النقط على المنحنى الرأسى الذى يصل بين انحدارين منتظمين أولهما + ٠,٧ فى الجنزير والثانى ــ ٠,٩ فى الجنزير . علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الخطين ١٦٠,٦٠ متراً وطول المنحنى ٣٢٠ متراً . المطلوب مناسيب النقط كل ٤٠ متر وما منسوب أعلى نقطة .

٧٨ ــ ا ب حـ ء قطعة أرض مستطيلة الشكل النسبة بين طولى ضلعيها ا ب : ب حـ = ٣ : ٢ . شق الطريقان ا هـ ، ا و ليقابلا حـ ب ، حـ ء أو امتدادهما فى هـ ، وبالأطوال والانحرافات المبينة فى الشكل . أوجد أبعاد قطعة الأرض . ج ــ ا ب = ١٥٦٠,٨٥ ، ب حـ = ١٠٤٠,٥٠

٧٩ ــ حـ نقطة التماس المشتركة للمنحنيين ا حـ ، حـ ب ، ا ب نقطتا التماس وطول المنحنى حـ ا = ٣٣٠ م ونصف قطره ٥٠٠ م . أوجد مساحة القطعة ا حـ ب هـ حيث ا هـ = ٨٦٦,٧ م وانحرافه ٣٠ ′ ١٥° ، ب هـ = ١٠٨٥,١ م وانحرافه ١٠ ′ ١١٥° .

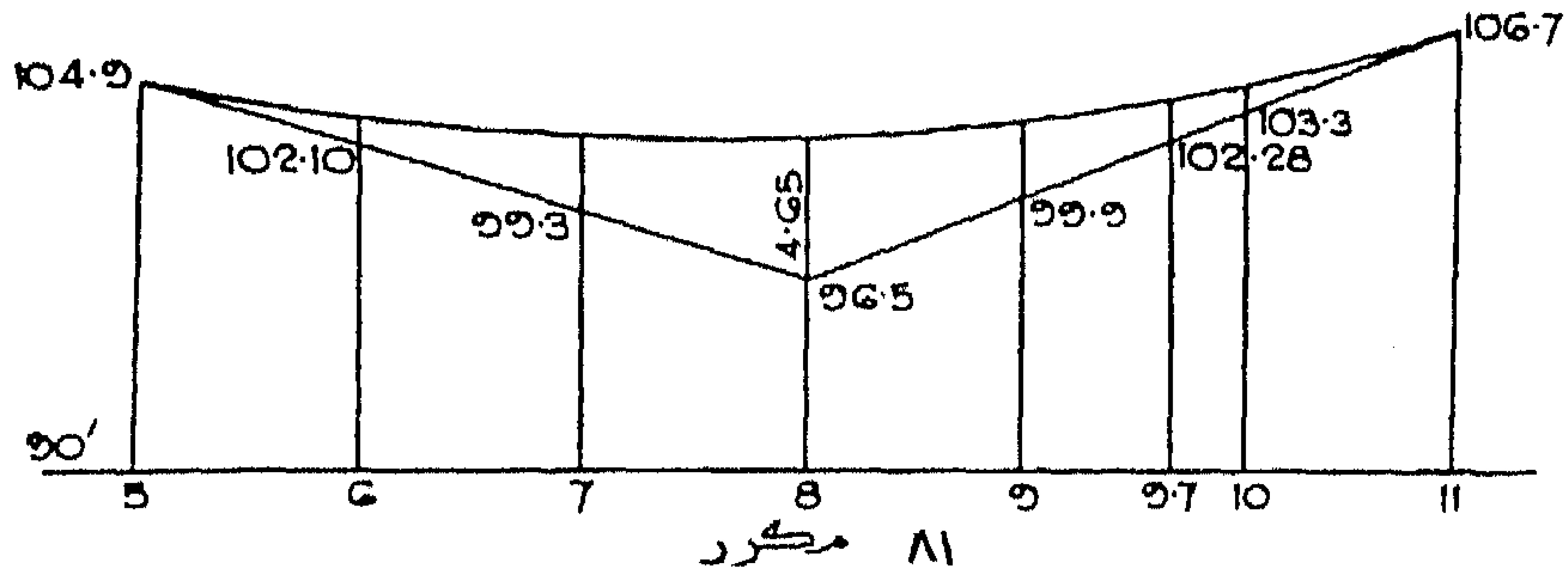


٨٠ ــ ا ، ب ، حـ ثلاثة أبراج على خط مستقيم . المسافة ا ب = ٩٠٠ م ب حـ = ٢٢٥٠ م . قيست الزاويتان ا ء ب ، حـ ء ب بتيودوليت عند ء فكانتا ٤٠″ ٤٥′ ١٨°، ٠٠″ ٥١′ ١٤٠° . وكانت زاوية ارتفاع قمة البرج ب من سطح الجهاز = ٠٠″ ١١′ ٩° . منسوب الأرض عند التيودوليت ٢١٤,٦٥ م وارتفاع الجهاز ٤,٧٥ مترا ، وارتفاع الأبراج ٥٠ م . ما منسوب الأرض عند البرج ب . ج ــ منسوب الأرض ٢٥٩,١ .

٨١ ــ ا ، ب نقطتان على جانبى غابة فى وادى عميق . حـ ، ء ، هـ ثلاث نقط مثلثات بالمعلومات المبينة فى الشكل . قيست الزوايا عند ا ، ب كما هو مبين . ما مقدار المسافة ا ب . ج ــ ا ب = ٢١٠١,٩ .

٨١ مكرر — يراد تصميم منحنى رأسى ليصل الانحدارين المبينيين فى الشكل . أحسب مناسيب النقط على المنحنى عند النقط ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ ، ٩,٧ ، ١٠ حيث هذه الأرقام تمثل محطات كل ٣٠ متر حقق العمل الحسابى وأوجد أيضاً بعد ومنسوب أوطى نقطة على هذا المنحنى .

وإذا فرض أن الانحدار الأول زاد إلى الضعف وكان المطلوب طول المنحنى إذا كان المنحنى سيمر بنقطة (س) حيث منسوبها ٩٨,٠ وتدريجها ٧,٢٥
أولاً : تدريج تقاطع الانحدارين ٨,٦٠ ومنسوبها ٩٦,٣٠ .
ثانياً : إذا كانت س هى أوطى نقطة فى المنحنى .



٨١ مكرر

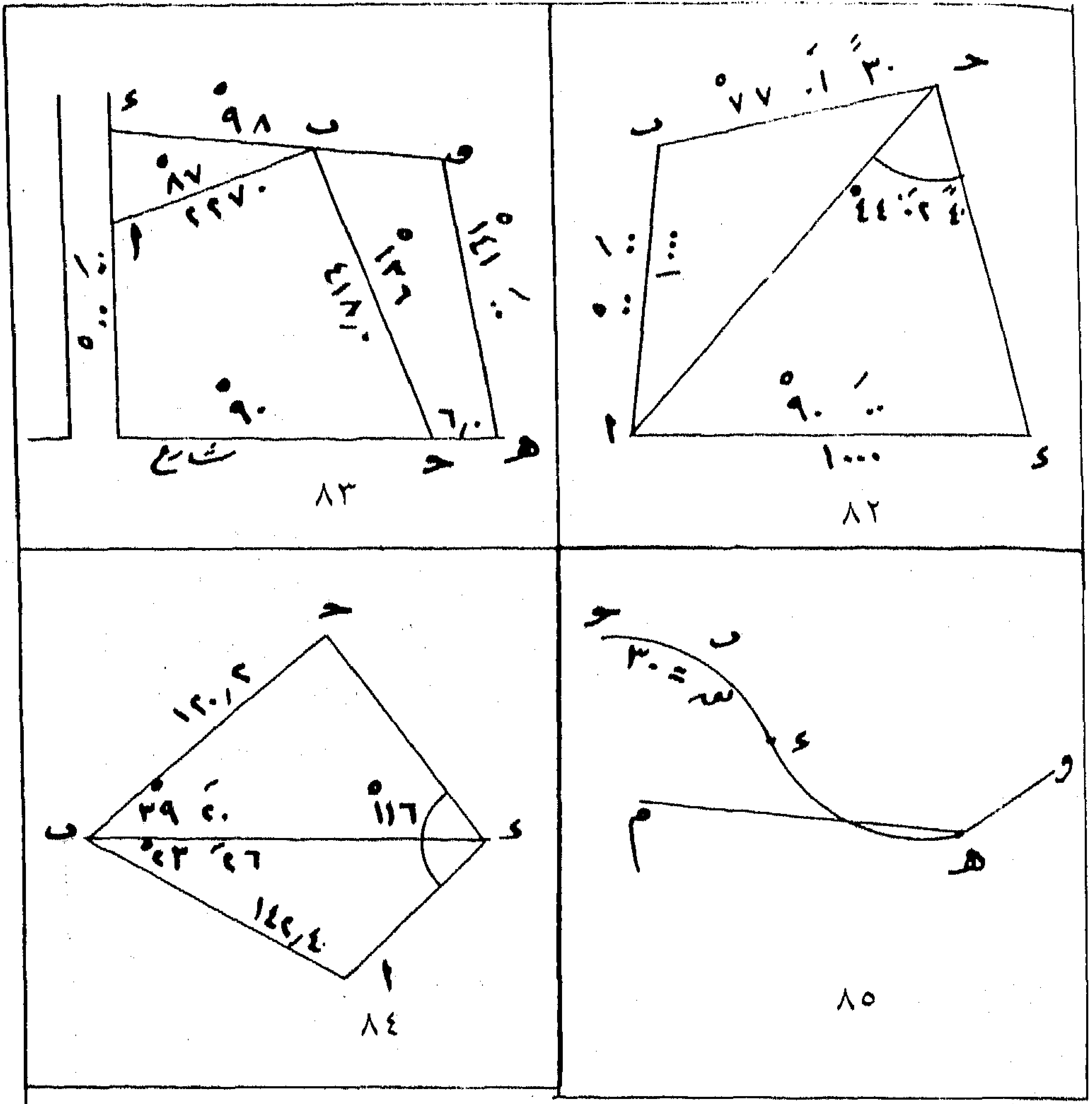
٨٢ — من المعلومات المبينة فى الشكل ، أحسب المسافة ب حـ ، وانحراف وطول حـ ى . ج — ب حـ = ٨٠٠,٠ ، حـ ى = ٥٥" ٢٤' ١٦٩° ، ١٢٠٠ .

٨٣ — أجرى الترافرس ا ب حـ لتعيين خط ماسورة مياه قديمة ى و هـ وكان من المعلوم أن انحراف الماسورة يساوى ٠٠' ١٤١° من و إلى هـ ، ٠٠' ٩٨° من ى إلى و مع مرورها بالنقطة ب . أحسب الأطوال ى ا ، ى و ، و هـ . ج — ى ا = ٤٣,٧٤ ، ى و = ٢٨٩,١٧ ، و هـ = ٣٧٦,١٢ .

٨٤ — من المعلومات المبينة فى الشكل أحسب طول ا ى .

ج — ٦٢,١٣ .

٨٥ — حـ ب ى يراد إيصاله بالخط المستقيم هـ و بمنحنى عكسى ى هـ . ى ليست من الضرورى أن تكون على الخط م هـ ، م هى مركز المنحنى حـ ب ى ، ونصف قطره ٣٠ جنزيراً . انحراف هـ م = ٠٣' ٣٠٨° وطوله ٥٨,٤١٥ جنزيراً . انحراف هـ و = ٩٠° . أوجد نصف قطر المنحنى ى هـ .
ج — ١٩,٠٣



٨٦ — منحنى مقعر يصل بين انحدارين — ٣٪ ، ٢٪ صمم على أساس أن مسافة الرؤية لنور الكشاف الأمامى حسب المواصفات . مسافة الرؤية للتوقف = ٥٠٠ قدم . أحسب طول مسافة الرؤية للمنحنى علماً بأنه أطول من مسافة الرؤية . ملحوظة : المنحنى يؤخذ دائرياً وليس قطعاً مكافئاً . ج — ٥٥٦ قدم .

٨٧ — ا ب ، حـ ى خطان مستقيمان بحيث أن ا ، ى على جانبى مماس مشترك ب حـ ، يراد إيصال الخطين بمنحنى عكسى نصف قطره س .

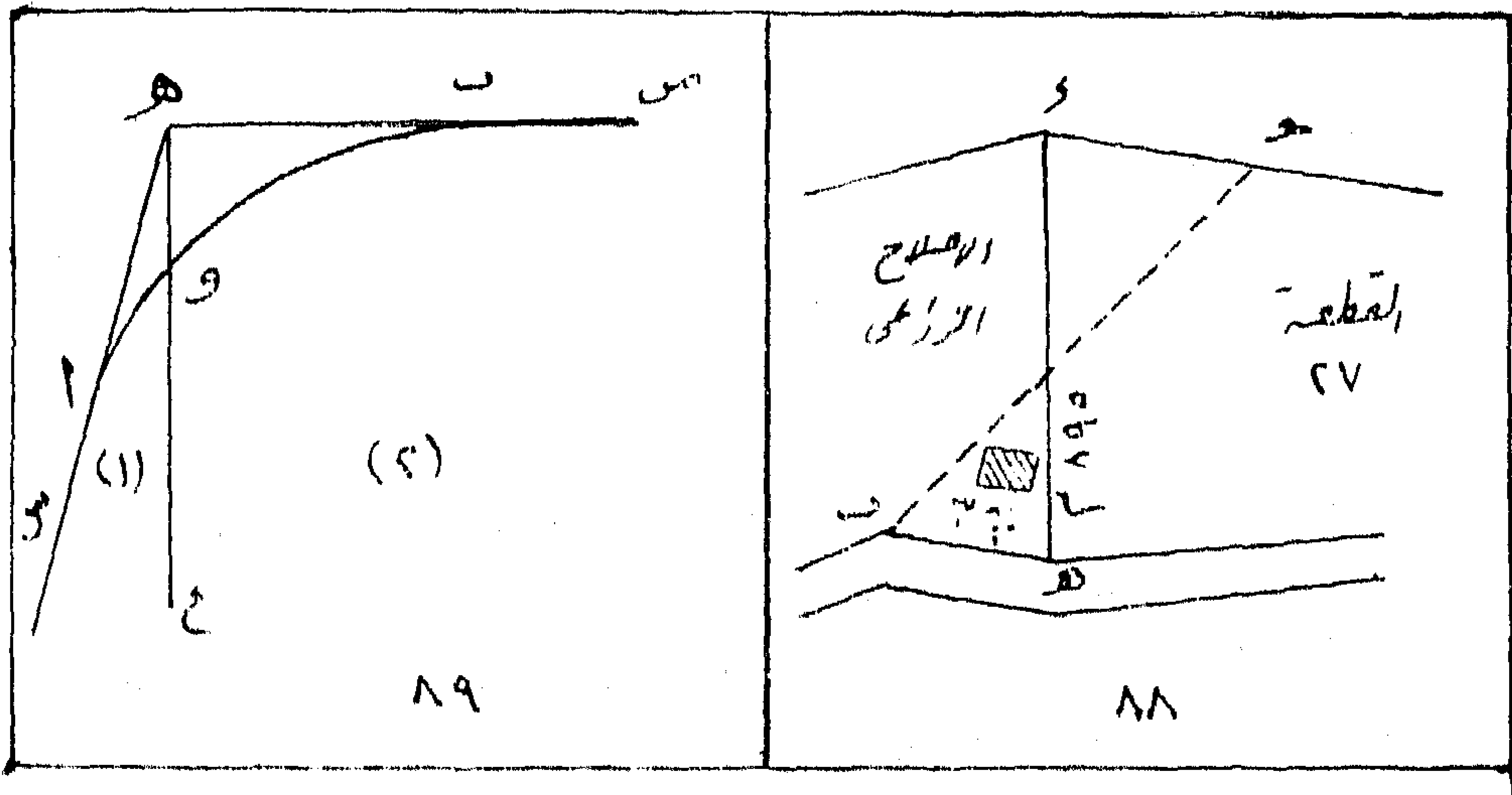
فإذا فرض أن الزاويتين ا ب حـ ، ب حـ ى هما ٤٠َ ١٤٨° ، ٢٠َ ١٣٩° على الترتيب وطول ب حـ يساوى ١٦,٢٨ جنزيراً . أوجد

ج — س = ٢٥ جنزيراً ، ١٣٨,١١٨ ، ١٥١,٨٥٩٢ ، ١٦٩,٦٠٢ .

نصف القطر المشترك وتدريج نقطتى التماس ونقطة التماس المشتركة . الاتجاه من ا إلى ء وتدريج ب = ١٤٥,٢٠ جنزيراً .

٨٨ ــ المنزل المبين فى الشكل يمتلكه صاحب قطعة الأرض ٢٧ وقد بنى خطأً فى منطقة الأصلاح الزراعى . يراد تحديد خط حدود جديد حـ ب بحيث ينتقل المنزل إلى المنطقة ٢٧ وبدون أن تتغير أى من مساحة القطعتين . أوجد طول حـ ء ، وأنحراف وطول المسافة ب حـ علماً بأن انحراف ء حـ = ١٠٠° ، هـ ء = صفر° ، ب هـ = ٠٠′ ١١٠° .

٨٩ ــ هـ س ، هـ ص طريقان يحدان القطعتين (١) ، (٢) على الترتيب . يراد إدخال المنحنى ا ب الذى يمس الحدين عند ا ، ب . أوجد نصف قطر المنحنى الذى يمر بنقطة والتى تقع على الحد الفاصل بين القطعتين وتبعد بمقدار ٩,٧٥ م عن هـ علماً بأن أنحراف س هـ = ٣٠° ، هـ ص = ٩٠° ، والحد هـ ع = ٣٠′ ١٨٤° . ج — ٤٩,٩٦



٩٠ ــ فى الشكل ا ، ب ، حـ ، ء نقط التماس . من المعلومات المبينة أوجد أنحراف ب حـ . نفس المسألة (٢٧) . ج — ٠٥″ ١٣′ ١٣٤°

٩١ ــ من المعلومات المبينة فى الشكل أحسب نصف قطر المنحنى ب حـ ء (نفس المسألة ٣٠) . ج — ١٩٤,٦١

٩٢ ــ ا ب حـ خط منكسر يفصل بين قطعتى أرض . ا ب انحرافه ١٦٠° وطوله ٥٠ ، ب حـ انحرافه ٢٠٠° وطوله ٣٠٠ . يراد تعديل الحد المنكسر إلى حد مستقيم ا ى بدون تغيير كل من المساحتين . أوجد طول حـ ى . ج ــ هـ ى = ١٥٦,٣٣

٩٣ ــ ثلاثة طرق متقاطعة كما فى الشكل . ب ى = ٤٠ م . أوجد طول ى و ج ــ هـ ى = ٢١١,٨

٩٤ ــ ا ى حـ ملعب سباق مستدير نصف قطره ١٠٠ متر ومركزه ب . من تيودوليت فى نقطة هـ قيست الزاوية ا هـ حـ بين المماسين فكانت ٤٠° . نقل الجهاز إلى و على ب هـ فكانت الزاوية ا و حـ = ٧٦° . ما بعد التيودوليت فى و عن س تقاطع ا و مع الملعب . ج ــ ٩٠,٨٣ .

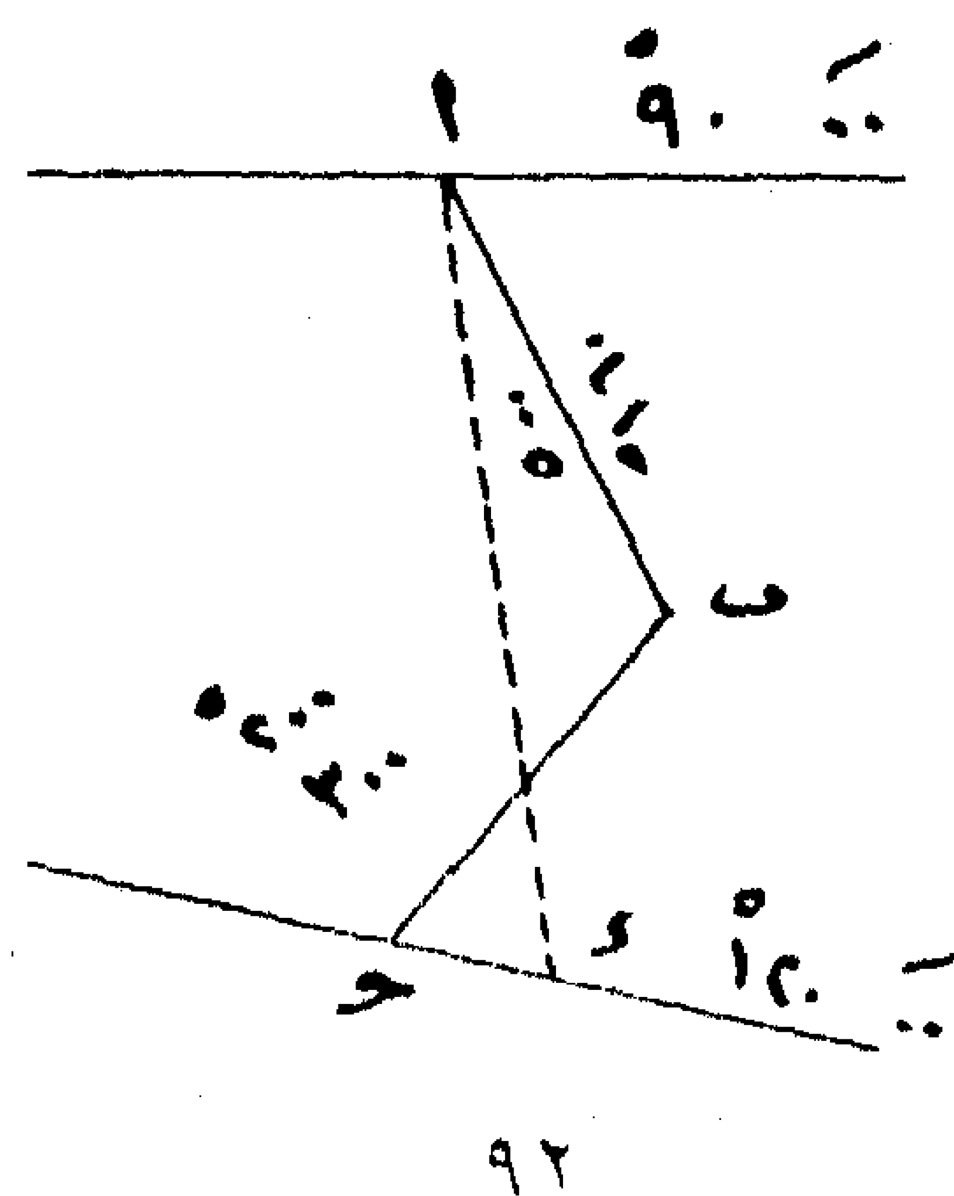
٩٥ ــ حـ هـ و عبارة عن حد يفصل بين قطعتى أرض وانحرافه ١٢٠° ٠٩′ ، ب حـ = ٦,٦٨ م . يراد توسيع الشارع باقتطاع الجزء ا ب ى بحيث أن ا ب = ب ى = ٢٠ م . انحراف ب ا = ١٦٠° وانحراف ب ى = ٤٠° ٥٠′ . أحسب طول كل من ا هـ ، هـ ى ، حـ هـ .

ج ــ ا هـ = ١٩,١٩ ، هـ ى = ١٥,٣٣ ، حـ هـ = ٧,٧٥ .

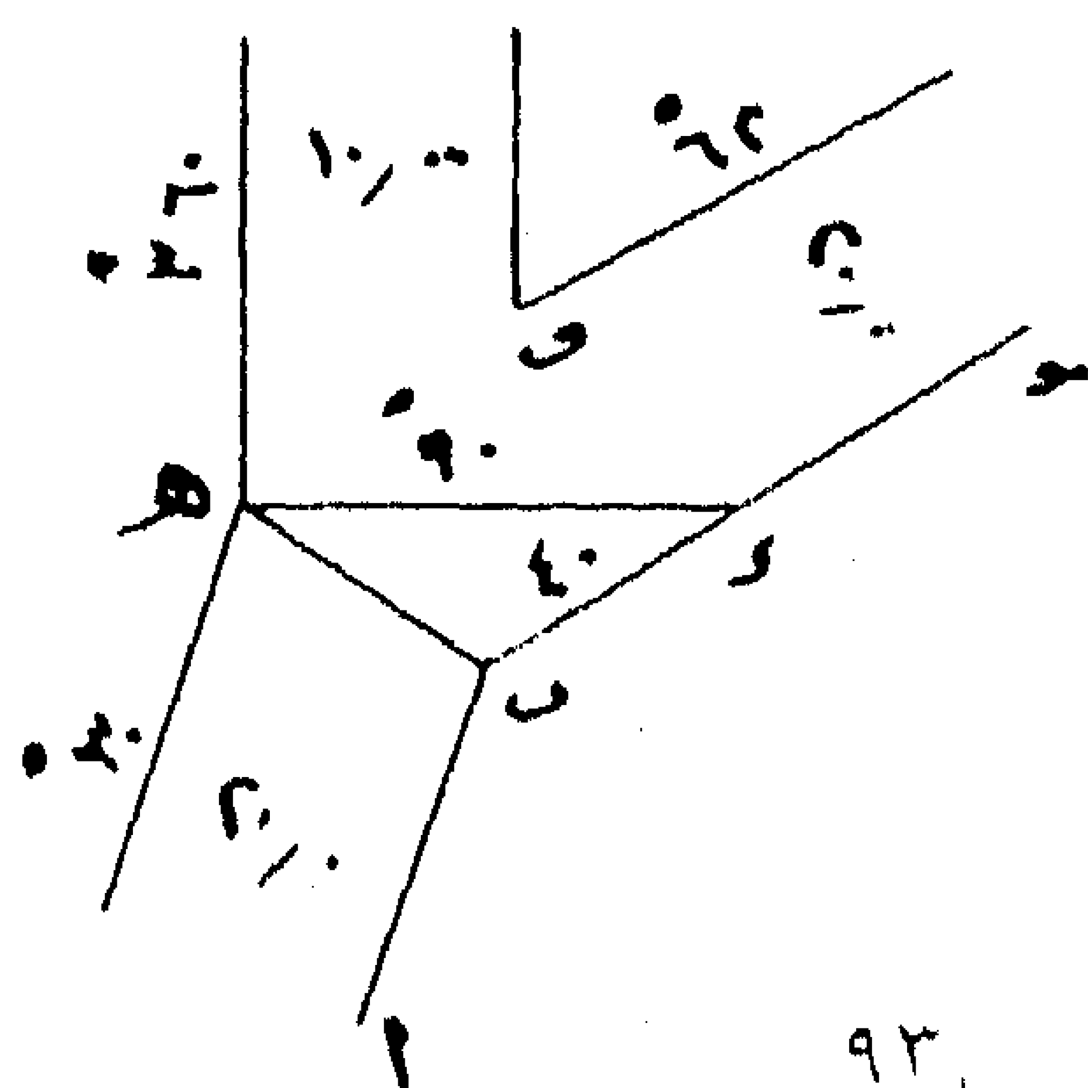
٩٦ ــ مماسان ا ب ، ب حـ يتقاطعان فى زاوية ٦٣° ٣٠′ . ا ى ، ى هـ ، هـ و ، و حـ عبارة عن أربعة أوتار تقع على منحنى يمر بنقطتى ا ، حـ نصف قطره ٤٠٠ قدم . أحسب طول وانحراف كل من الأوتار إذا علم أن انحراف ب حـ = ١٢٣° ٣٠′ . ج ــ ١١٠,٤٧ .

٩٦ م ــ ا ب حـ ى هـ مضلع مقفل فيه ا ب = ٤٧٤ م ، حـ ب = ١٢٠ م ، حـ ى = ٢٥٧,٣٣ م ، ى هـ = ٢٢٦ م ، هـ ا = ٢٨٧ م ، والزاويتان ب ا هـ = ١٠١° ٢٧′ ، ا حـ ى = ٧٥° . أوجد قيم الزوايا الأخرى ا ب حـ = ١٤٣° ٤٩′ ٣٠″ ، ب حـ ى = ٦٨° ٢١′ ، حـ ى هـ = ١٥٦° ٢٢′

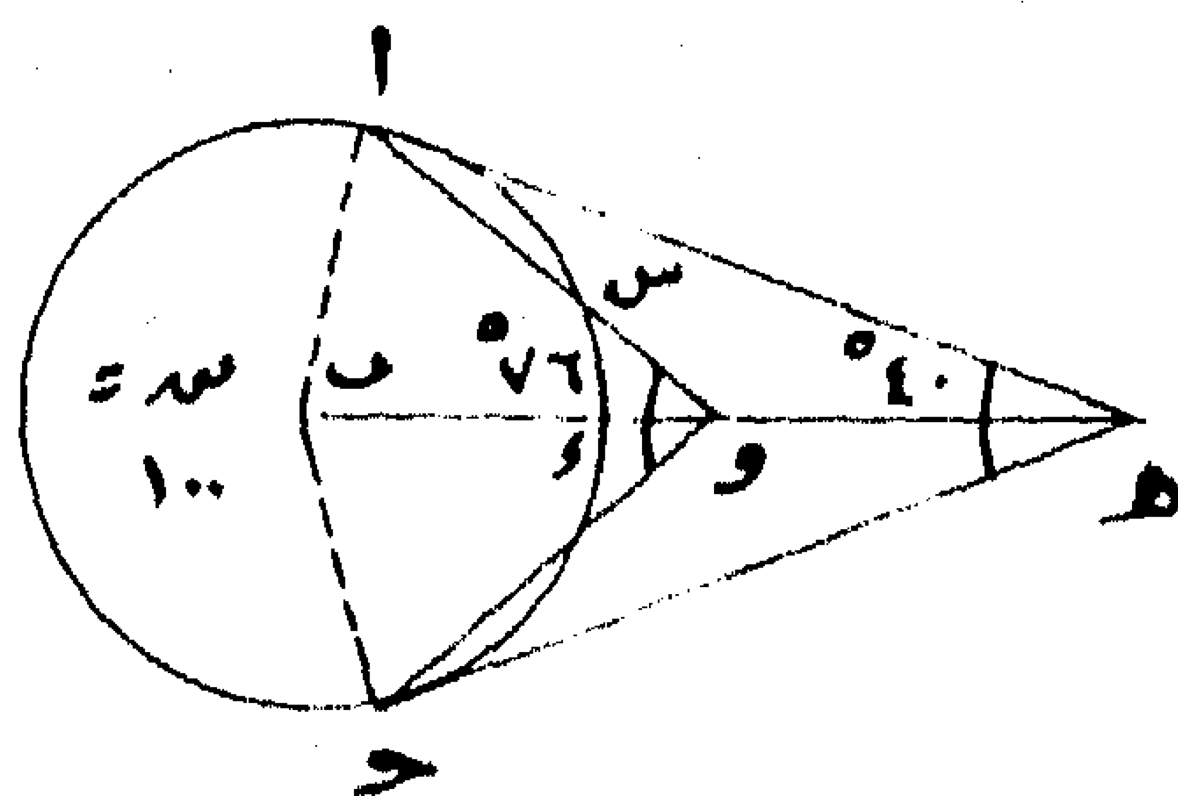
٩٧ ــ يراد تعديل الحد ى حـ بين القطعتين ا ، ب بالحد المنكسر المكون من الخطين و هـ ، هـ ك ، والمتعامدين على حدى الطريقين . المطلوب جعل المساحة ى هـ و أربعة أمثال المساحة هـ ك حـ . قيس الحد ى حـ فوجد أن طوله ٥٩٤,٢ متراً . أوجد المساحة حـ هـ ك .



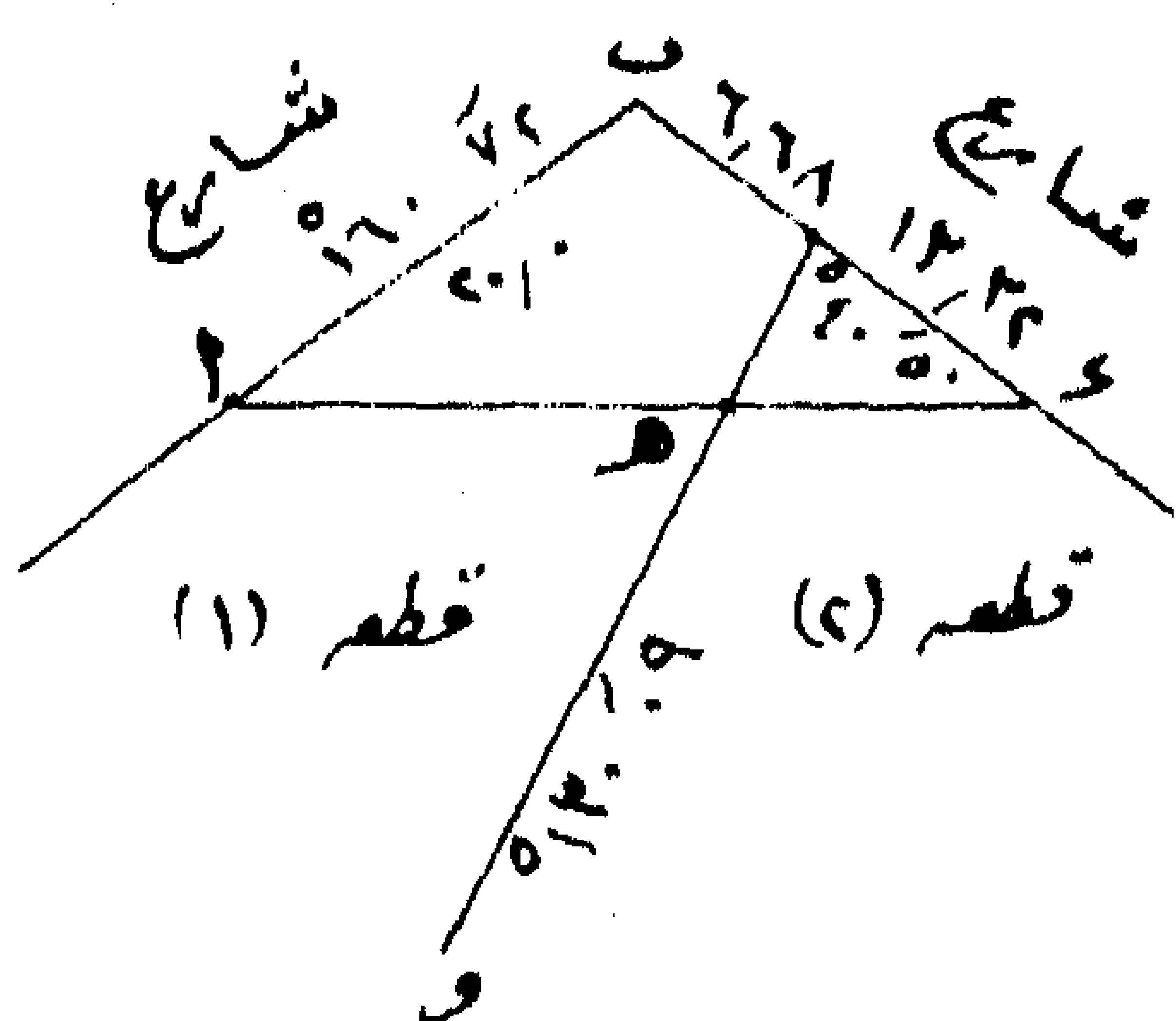
٩٢



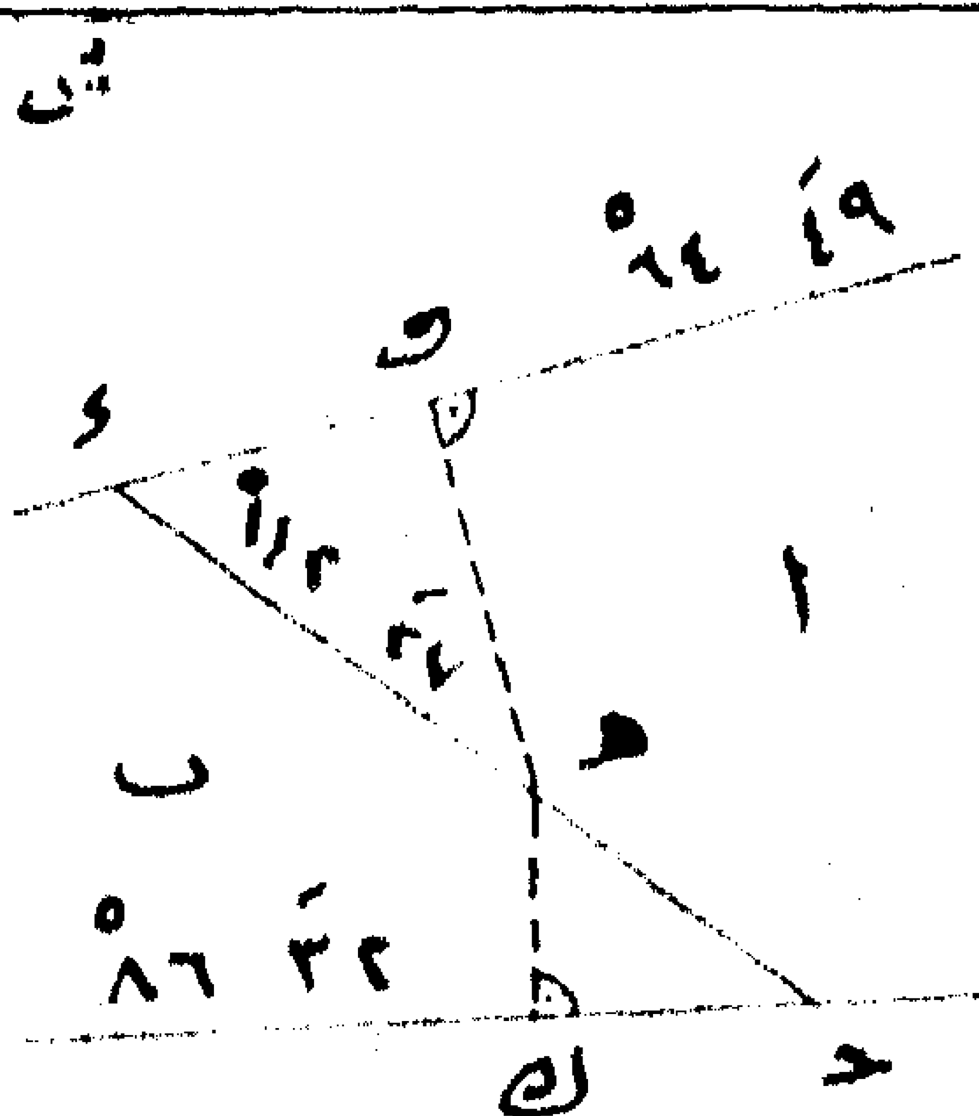
٩٣ا



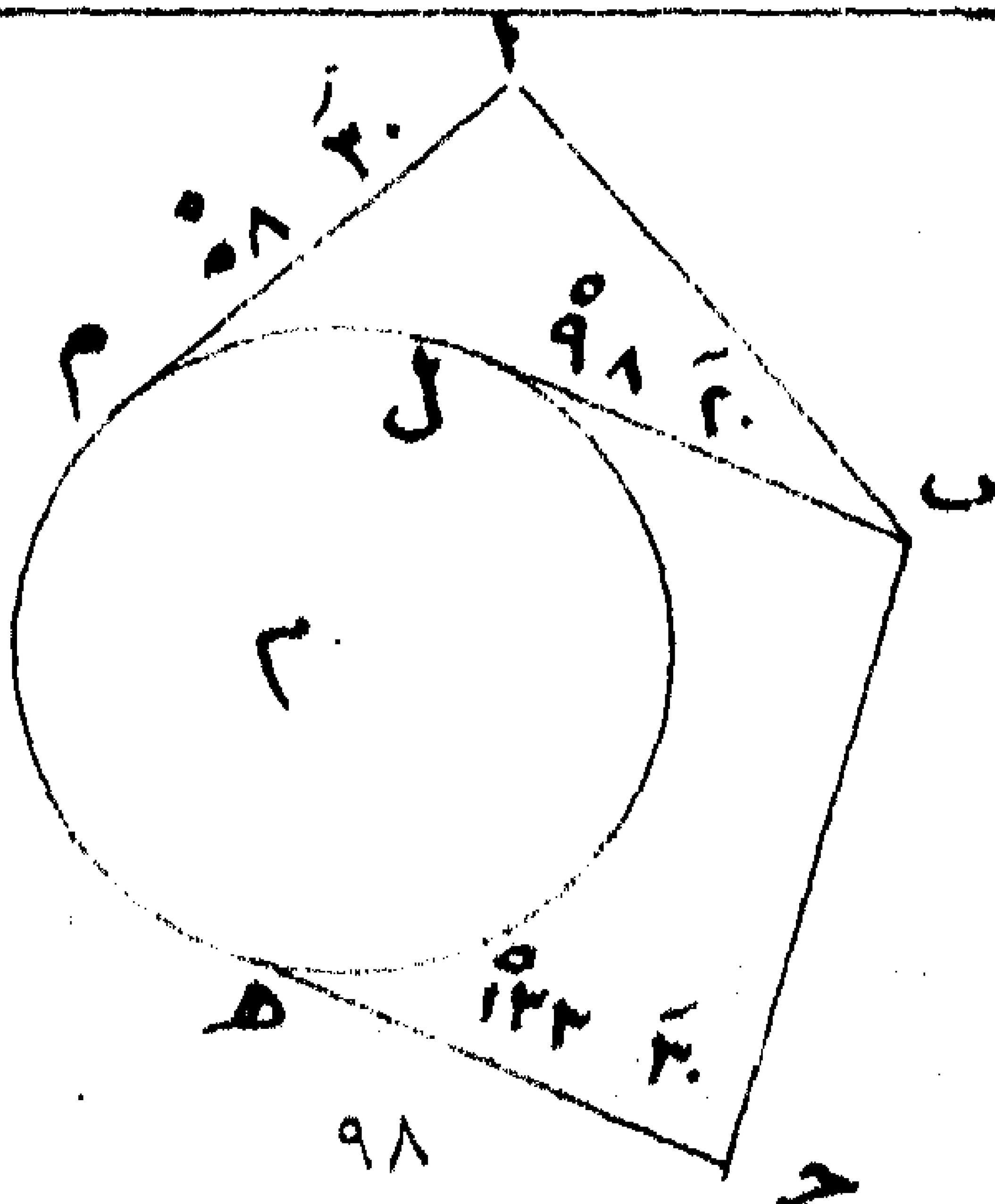
٩٤



٩٥



٩٧



٩٨

٩٨ ــــ ا ، ب ، حـ ثلاث نقط انحراف ا ب ٠٠′ ١٠° وطوله ٢٠٠٠ متر ، ب حـ انحرافه ٣٥٠° . قيست انحرافات المماسات من ا ب ، حـ لمبنى دائرى مساحته ٣٨٥٠ م^٢ ، واحسب المسافة ب حـ . أنحراف ا م = ٣٠′ ٥٨° ، ب ل = ٢٠′ ٩٨° ، انحراف حـ هـ = ٣٠′ ١٣٣° ج ــ ٢٣٥٨,٩ .

٩٩ ــــ ثلاثة شوارع تتقاطع كما هو مبين بالشكل . أحسب طولى وانحراف ا ب ، ا حـ   ج ــ ا ب ٤١′ ١٢٦° ، ١١٦,١٤ ، ا حـ ١٥′ ٩٧° ، ١٥٢,٣١ .

١٠٠ ــــ ماسورة مجارى م هـ و ع مطلوب أن تبعد بمقدار ٢٠ م عن كل من الركنين ء ، س . طول ا ب = ٧٠ م وانحراف ب ا = ١٠′ ١٧٤° . أحسب انحراف ماسورة المجارى . ج ــ ٠٥′ ٦٥°

١٠١ ــــ صهريج بترول دائرى جديد قطره ٥٠ مترا ومركزه ء يراد أنشاؤه بحيث يبعد ٥٠ مترا من صهريج موجود حالياً ، ٥٠ متراً من الحد ا هـ . أحسب طول وانحراف ا ء ليمكن توقيع مركز الصهريج ج ــ ١٣٢,٨٤

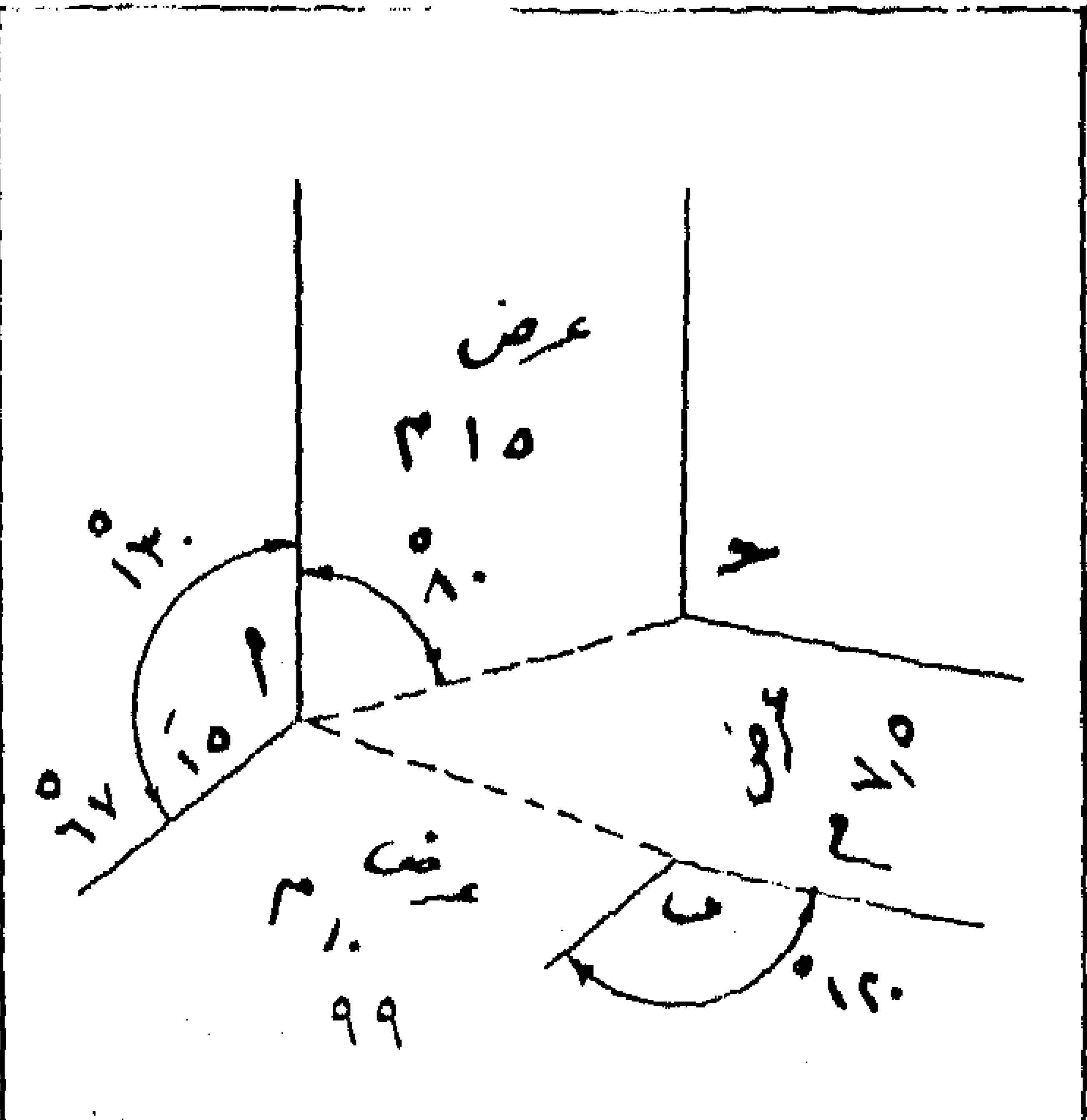
١٠٢ ــــ ملعب رياضى يراد توقيعه كما فى الشكل متماثلاً حول المحورين ا ب ، م هـ ما طول السباق وطول المحور م هـ . ء ، هـ ، و ، حـ نقط تماس . ج ــ ٢٣٠٣,٨٤ ، ٦٥٣,٦٠٠ م .

١٠٣ ــــ يراد إيصال المنحنى حـ ب ء بالخط و ا ب بواسطة منحنى نصف قطره ٣٠٠ متراً وبحيث يكون مماساً عند ا ، هـ . أحسب المسافة ا ب ، وطول المنحنى ا هـ . ج ــ ا ب = ١٣٣,٢٥ ، ا هـ = ٢١٣,٣ م .

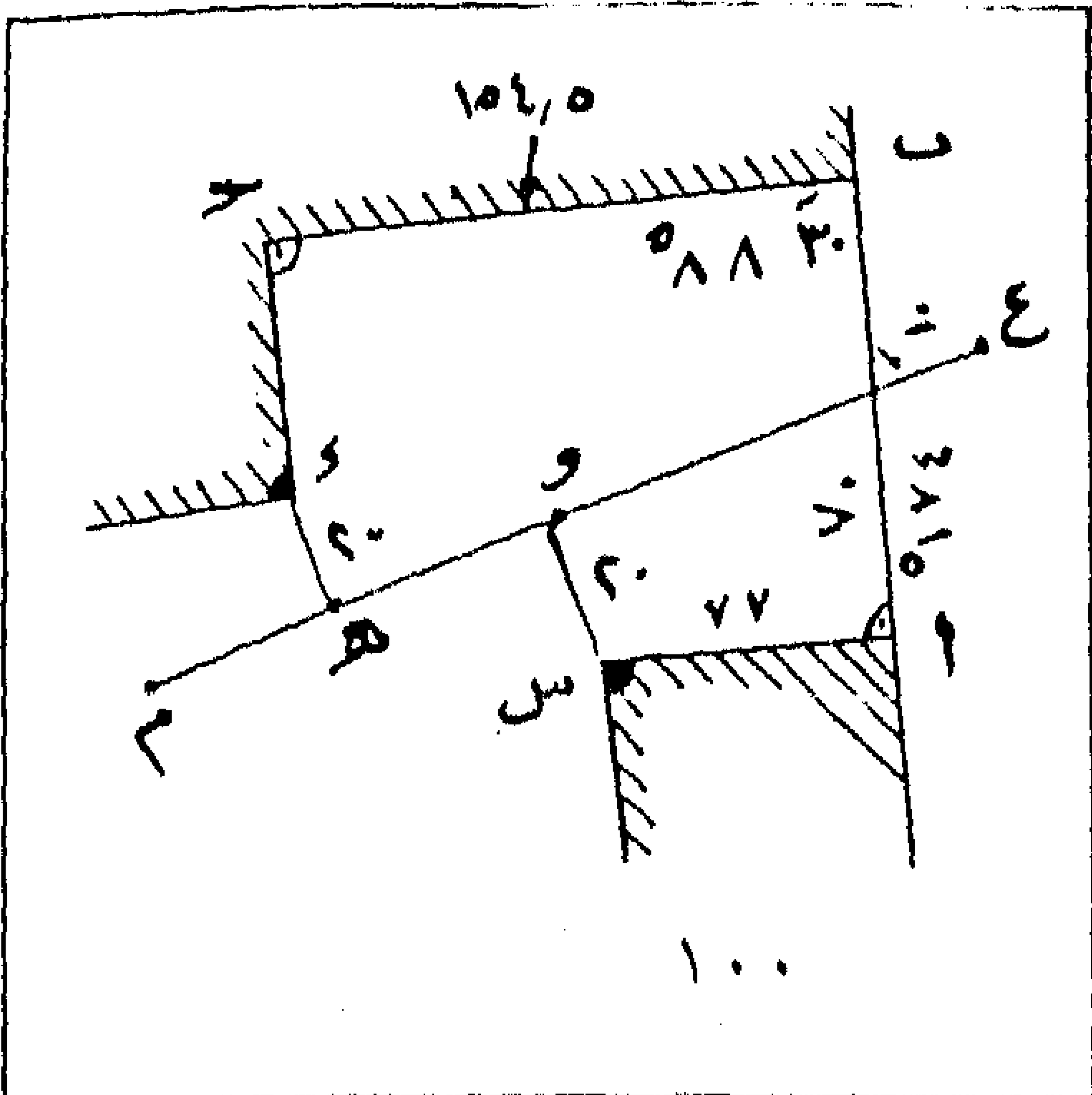
١٠٤ ــــ من المعلومات المبينة أحسب طول وانحراف ا ء . ٢٤′ ٦٤° ، ٤٥,٧٣ .

١٠٥ ــــ طريقان ا ب ، حـ ء المسافة بين ا ، حـ = ٤٠٠ م وبين ب ، ء = ٥٠٠ م . انحراف ا ب = ١٠′ ١٣٩° وطوله ١٣٠ م ، وانحراف حـ ء = ٢٠′ ١٤° وطوله ١٤٠ م . أحسب انحرافى ا حـ ، ب ء .

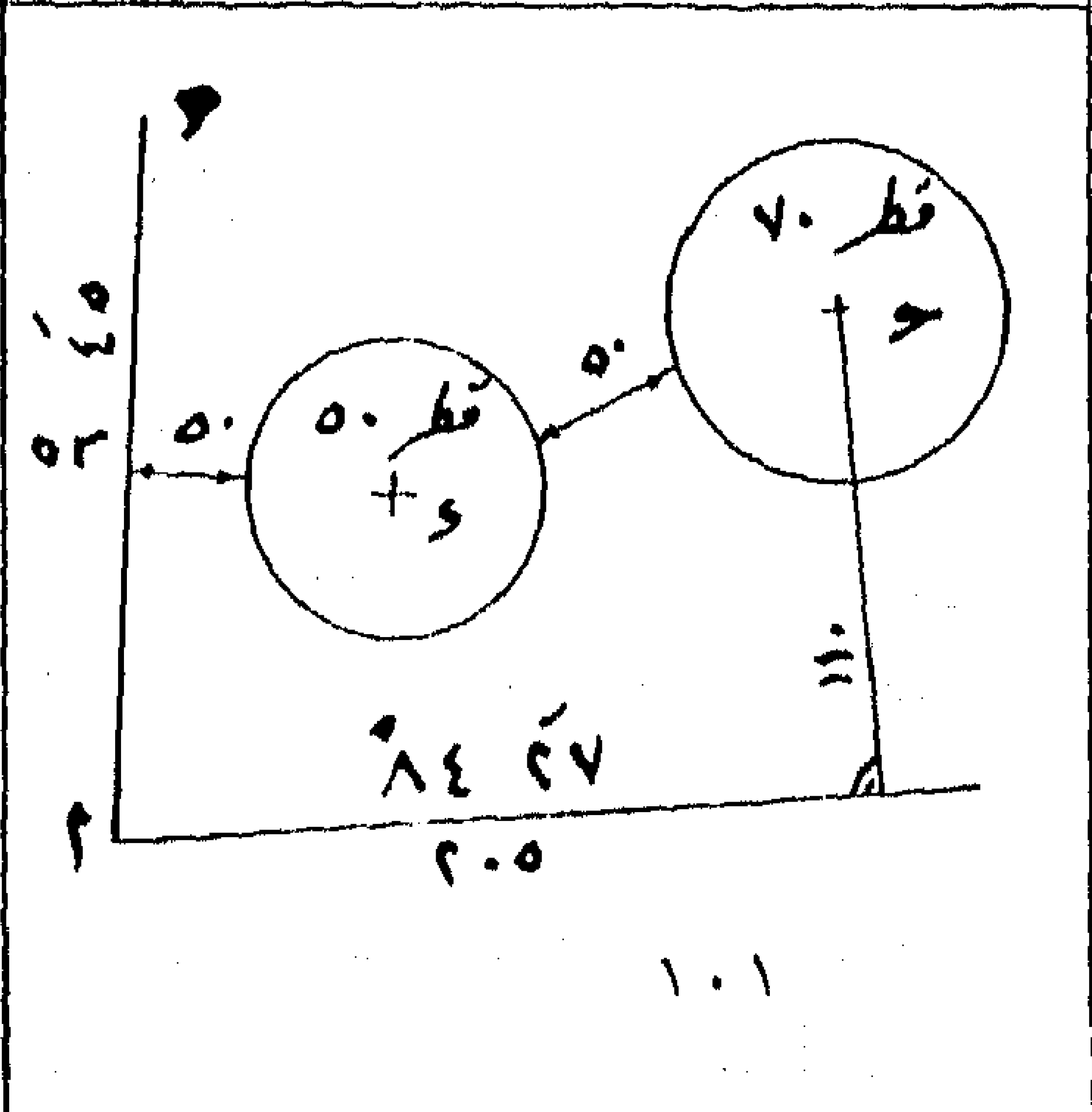
ج ــ ا حـ ٣٠″ ٠١′ ٦٨° ، ب ء = ٣٠″ ٥٣′ ٣٩° .



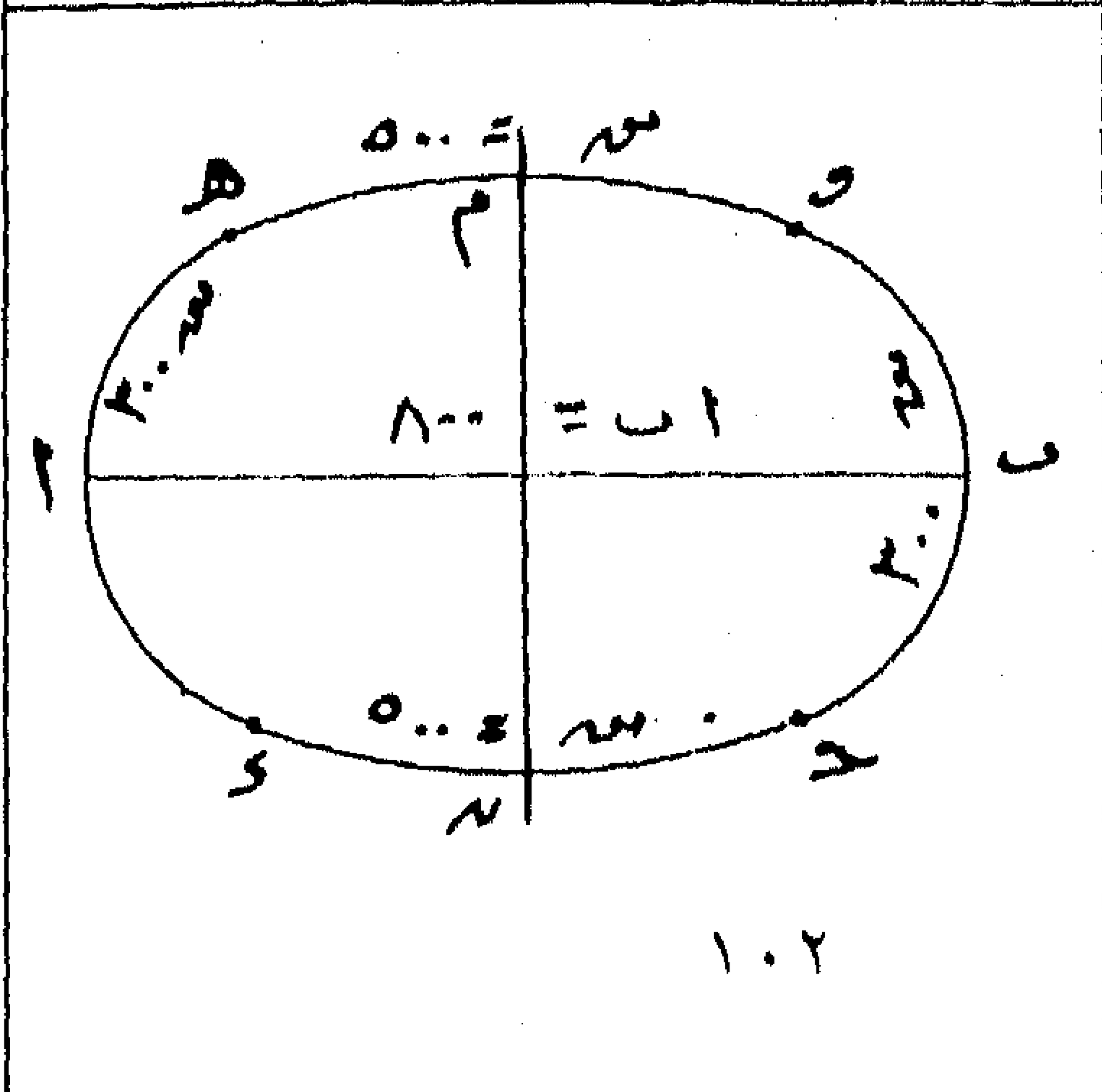
٩٩



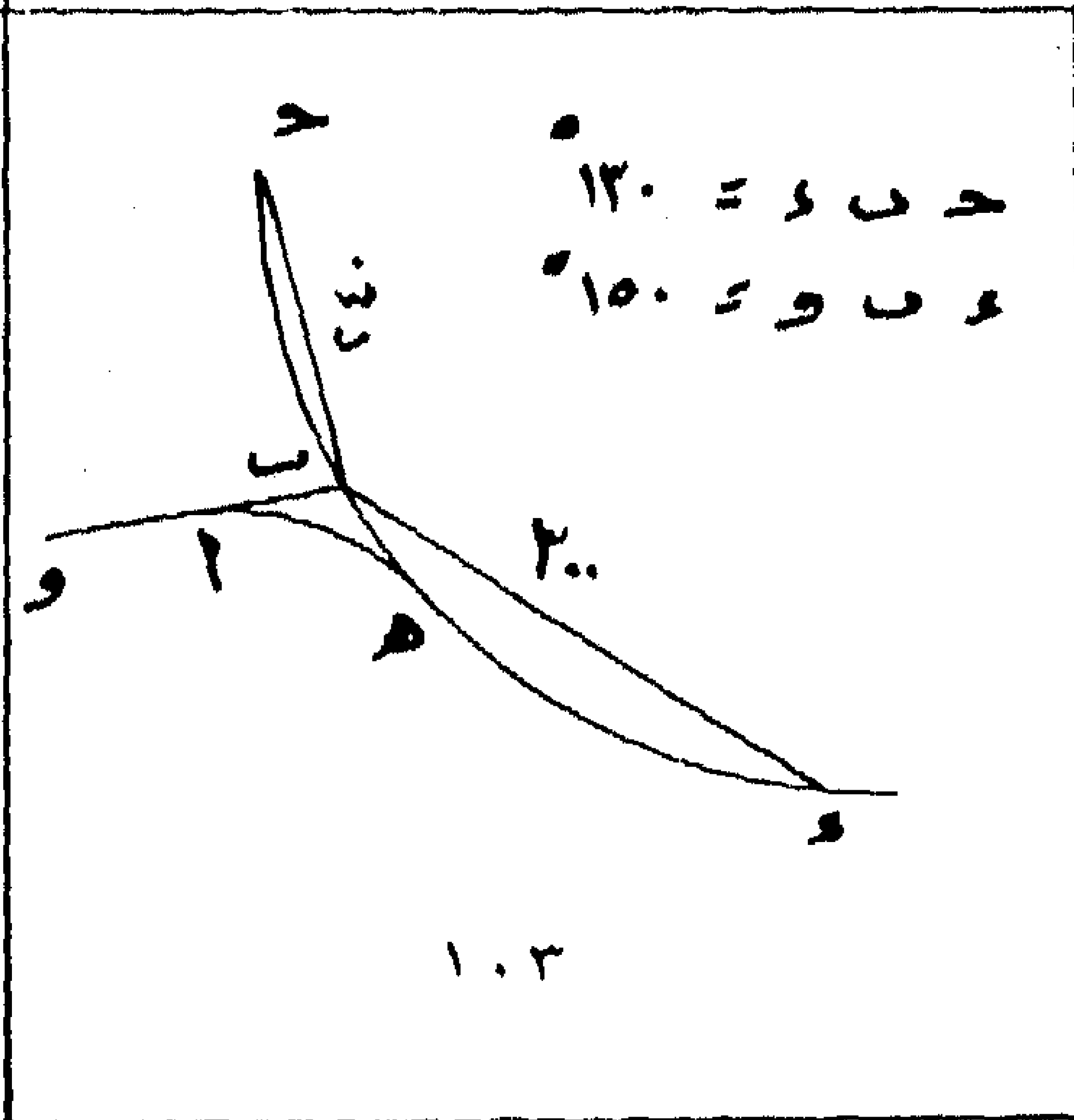
١٠٠



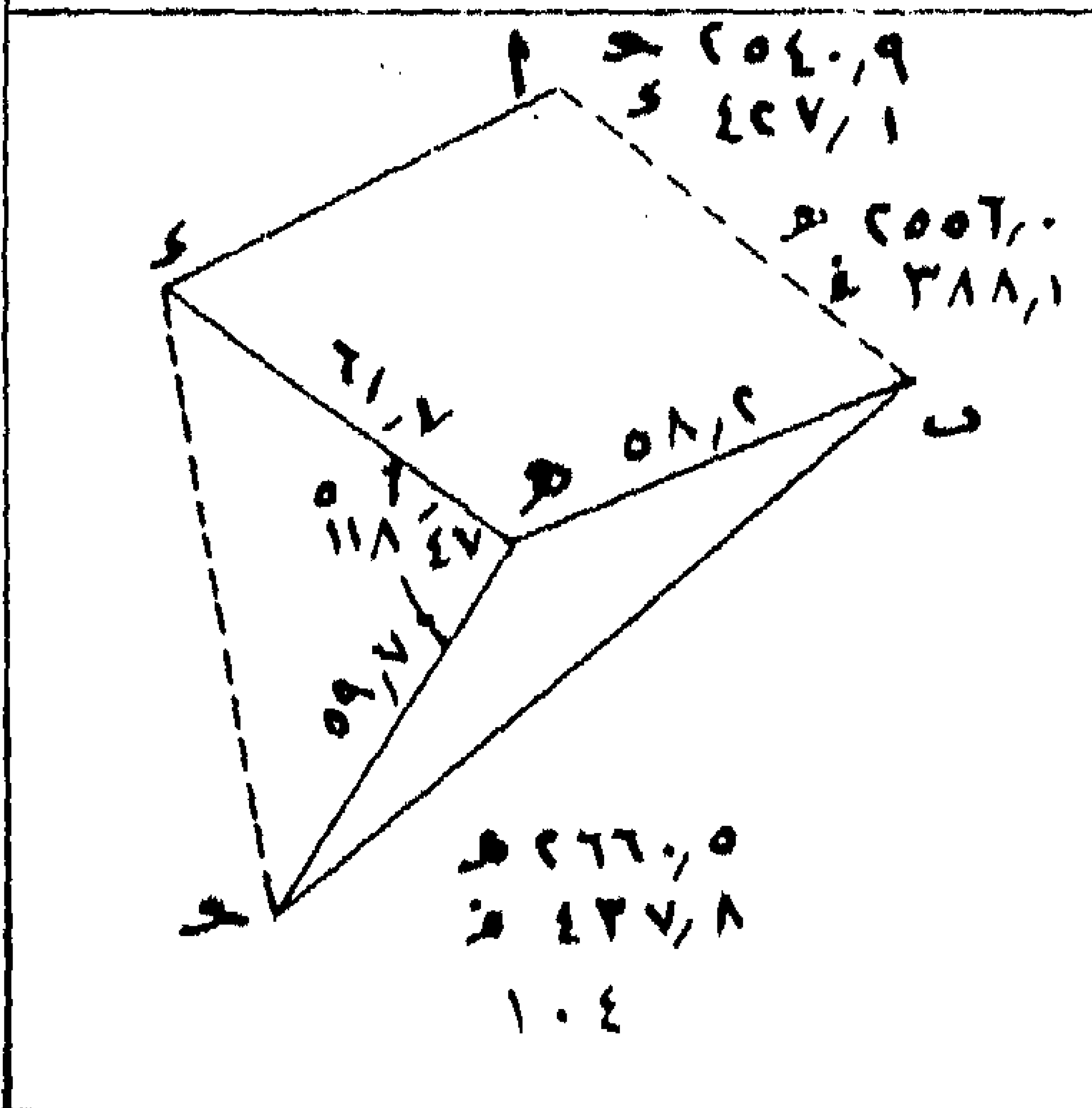
١٠١



١٠٢



١٠٣



١٠٤

١٠٦ ـــ يراد تعديل الحد الغير منتظم ا ب حـ ء بين قطعتى الأرض (١) ، (٢) بالحد المستقيم س ص بدون تغيير فى المساحتين . أحسب انحراف س ص .

١٠٧ ـــ منحنى فيه ء نقطة التماس ، حـ ، ب نقطتان تقعان عليه . أحسب المسافة ا ء ، نصف قطر المنحنى ، ا ب = ٧٠١,٢ م وانحرافه ١١٠° انحراف ء ا = ٢٠° وانحراف ا حـ = ١٢٠° .

١٠٨ ـــ فى الشكل ا ، هـ نقطتان على حد قديم ووصلتا بترافرس ا ب حـ ء هـ . أحسب الأحداثيات العمودية من النقط ب ، حـ ، ء على الخط ا هـ . ج ـــ ب ٥,٧٧ ، حـ ٠,٢٣ ، ء ٣,٢٤ .

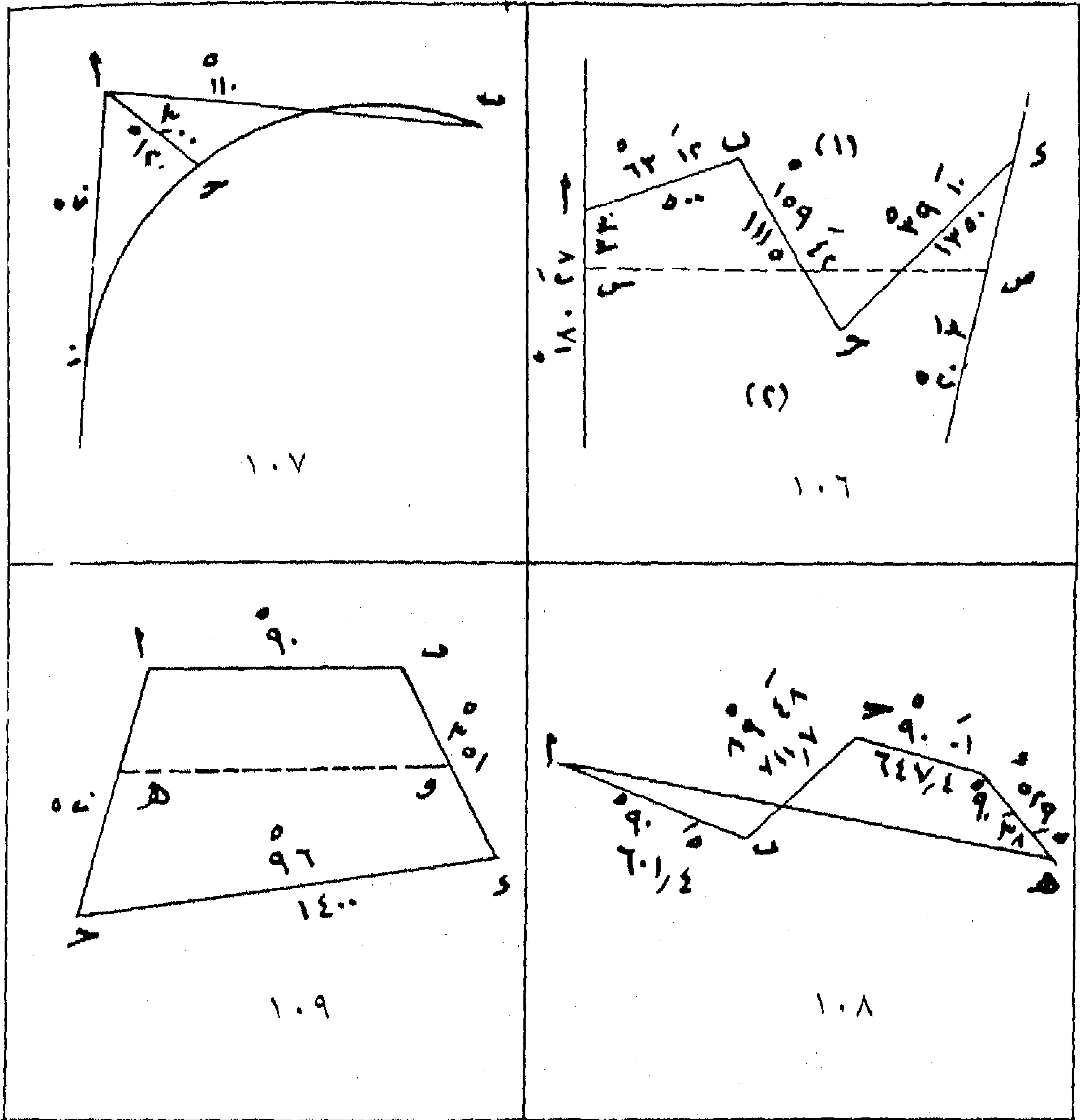
١٠٩ ـــ من البيانات بالشكل يراد أقتطاع الجزء الأسفل بالخط هـ و بحيث تكون مساحته خمسة أفدنة انجليزية . أوجد طول هـ و . هـ و = ١٢٠٧,٠٢ .

١١٠ ـــ ا ب حـ ء قطعة أرض قيست الزوايا المبينة بالتيودوليت وقيست الأطوال ا ء ، ب حـ . أحسب طولى ا ب ، حـ ء . ا ب = ٨٦٥١,٨ ، حـ ء = ٩٨١٢,٢

١١١ ـــ طريقان تقاطعا فى ب . يراد إدخال منحنى دائرى و ب هـ حيث و ، هـ نقطتا التماس . وبحيث أن الخط ب ط يكون طوله ٤٠,٠ وانحرافه ٣٤٠° ٠٠′ . أحسب طول المنحنى هـ و ، و ط . ج ـــ ١١٦,٨٧ .

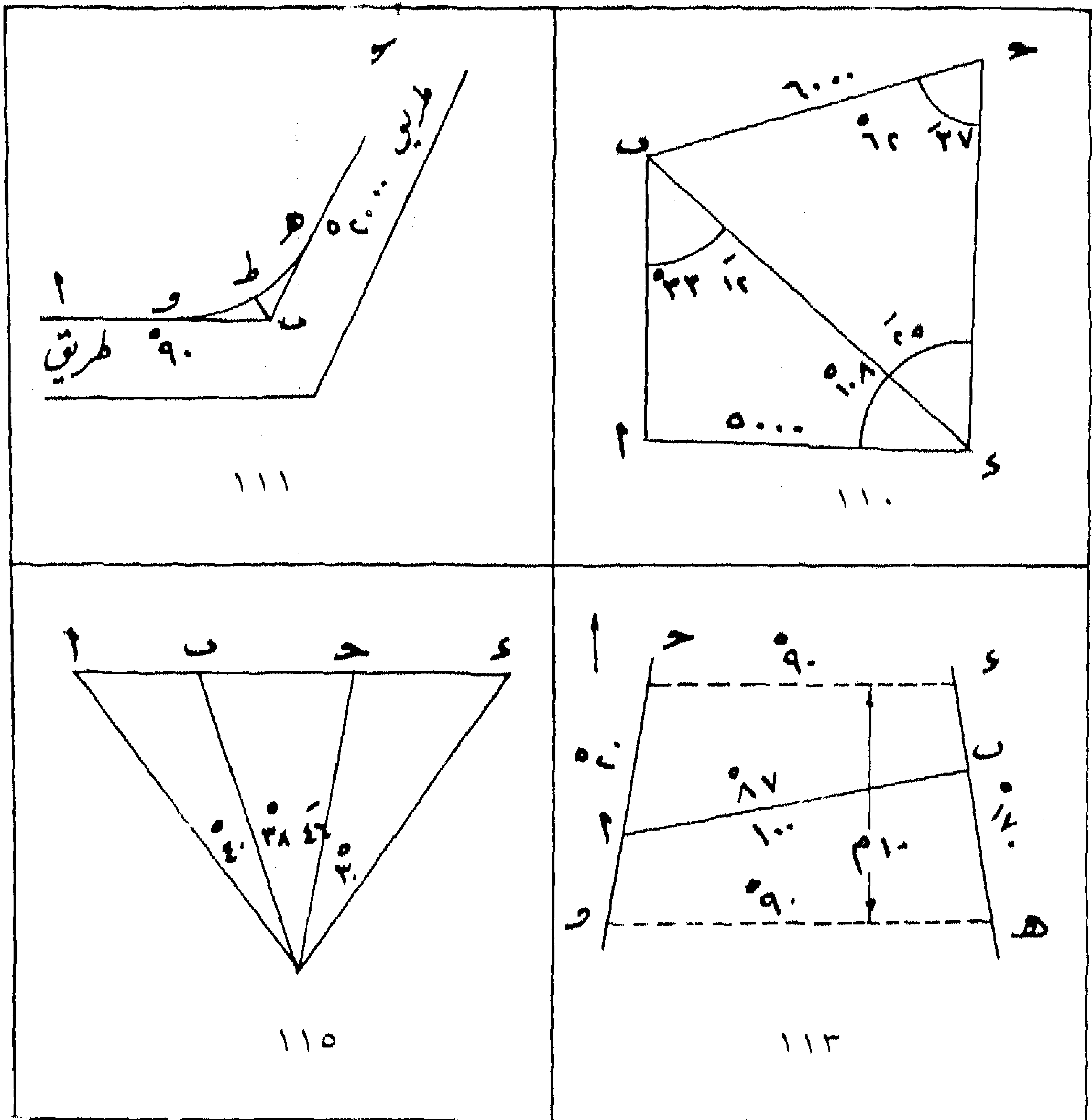
١١٢ ـــ ا ، ب ، حـ ثلاث نقط قيست أبعادها وانحرافاتها من نقطة ء فكانت على الترتيب ٢٨٧° ، ٣٠٠° م ، ٣٣٤° ، ٢٤٠ م ، ٧٢° ، ٣٥٠ م . يراد إنشاء خط سكة حديد يمر بالنقط ا ، ب ، حـ . أحسب نصف قطره .

١١٣ ـــ ا ب حد يفصل بين قطعتى أرض انحرافه ٨٧° وطوله ١٠٠ متر . أتفق المالكان على إنشاء طريق حـ ء هـ و عرضه ١٠ متر بحيث أن المساحة المقتطعة من كل تكون متساوية كما أن كل من حـ ء ، و هـ يتجه إلى الشرق تماماً . أحسب الأطوال ا حـ ، ب ء ، حـ ء ، و هـ .



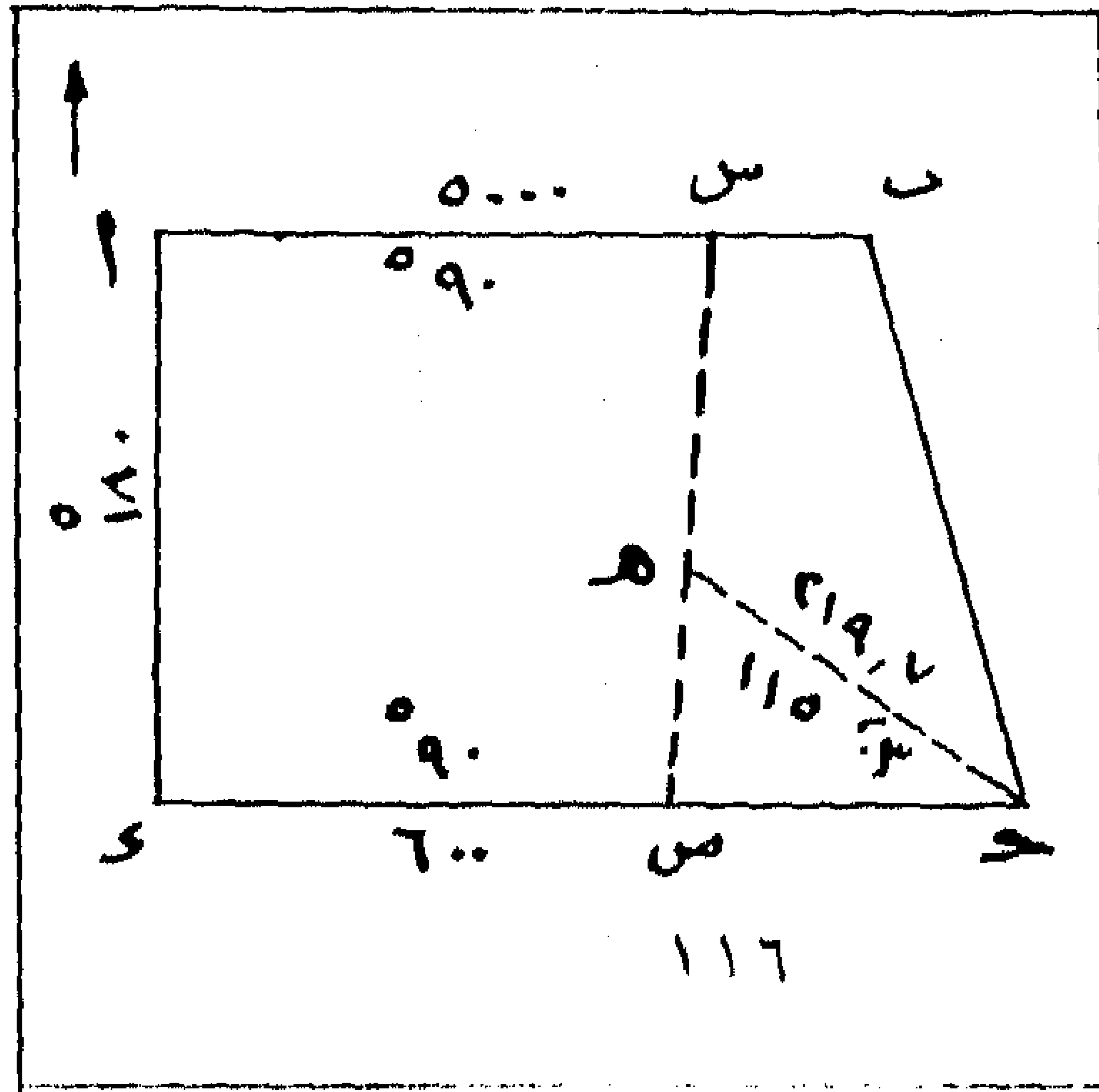
١١٤ ــ طريقان ا حـ ، هـ حـ يتقاطعان فى حـ . ب ط ى منحنى مركب يمس الطريقين فى ب ، ى على الترتيب . ط نقطة التماس المشتركة . أوجد نصفى قطرى المنحنيين ب ط ، ط ى إذا علم أن الزاوية ب و ى = ٥٩٠ والزاوية ب حـ ى = ٥٤٠ وطول المماس ب حـ = ٥٠٠,٠ وطول المماس حـ ى = ٤٠٠,٠ . (و) هى مركز المنحنى ب ط .

١١٥ ــ ا ، ب ، حـ ، ى أربع نقط تقع على خط مستقيم . وجد أنه من المستحيل قياس ب حـ مباشرة ولكن أمكن قياس الزوايا المبينة فى الشكل من نقط هـ . أوجد طول ب حـ .



حـ
طريق
٥٠٠٠
هـ
ط
و
ا
ب
٩٠°
طريق
١١١
حـ
٦٠٠٠
٦٢°
٢٧َ
ب
٣٢°
١٢َ
٢٥َ
٥٠٨
٥٠٠٠
ا
ء
١١٠
ا
ب
حـ
ء
٤٠°
٣٨°
٤٦َ
٣٠°
١١٥
ا
حـ
٩٠°
ء
٥٠
ب
٨٧°
٧٠
م
١٠٠
١٠م
٩٠°
و
هـ
١١٣

١١٦ ـــ ا ، ب ، حـ قمم لثلاثة أبراج من حاملة الأسلاك الكهربائية ويمكن رؤيتها من نقطة هـ . يراد تخطيط خط س ص عمودى على هـ س ويمر بنقطة هـ حيث حـ ع = ٣٠٠ م . من المعلومات فى الشكل أحسب طول س هـ وانحراف س ع . ب حـ = ١٥١٨ م .



١١٦

١١٧ ـــ رصدت أطوال وأنحرافات خطوط مضلع خماسى فكانت كما يلى :

ا ب = ٣٢٠، ش ١٥ ′ ٨٢° غـ، ب حـ = ٤١٧,٢، ش ١٨ ′ ٥٤° ق، حـ ى = ٢٨٩,٤ ، ش ٣١ ′ ٧٧° ق، ى هـ = ٥١٥,٦، حـ ٢٤ ′ ٤٨° ق، هـ ا = ٢٣٧,٩ ، حـ ٣٢ ′ ٦٩° غـ . فإذا فرض أن الأطوال صحيحة فأى أنحراف يحتوى على خطأ .

١١٧ م ـــ زاوية ى هـ و تساوى ٠٠ ″ ١٥ ′ ٢٢° يراد توقيعها بتيودوليت .

١١٨ ـــ قيست الزاوية لنقطة ا بتيودوليت والجهاز متيامن فكانت القراءة + ١٨ ′ ٥٢° . جعل جهاز متياسرا ورصدت زاوية الارتفاع مرة أخرى فكانت القراءة هى نفسها + ١٨ ′ ٥٢° . ما مقدار خطأ الصفر . فإذا رصدت لزاوية الرأسية لنقطة أخرى والجهاز متيامن فكانت ـــ ٣٦ ′ ٥٣° . فما هى الزاوية الصحيحة . كم تكون الزاوية الصحيحة فى حالة لو كان الجهاز متياسراً .

١١٩ ـــ طريق جديد له إنحدار ١ إلى ١٠٠ فى جزء منه يراد إيصاله بطريق آخر انحداره ١ إلى ١٥٠ إلى أسفل بمنحنى رأسى طوله ٥٠٠ قدم . وجد أن نقطة ب على الطريق الأول تدريجها ٥١١٠٠ قدم ومنسوبها ٤٥,١٢ قدما ، نقطة حـ على الطريق الثانى تدريجها ٦٠٠٠٠ قدما ومنسوبها ٤٤,٩٥ قدم . أوجد :

أولاً ـــ تدريج ومناسيب نقط التماس على المنحنى .

ثانياً ـــ أوجد فى جدول مناسيب النقط على فترات ١٠٠ قدم وكذلك منسوب أعلى نقطة .

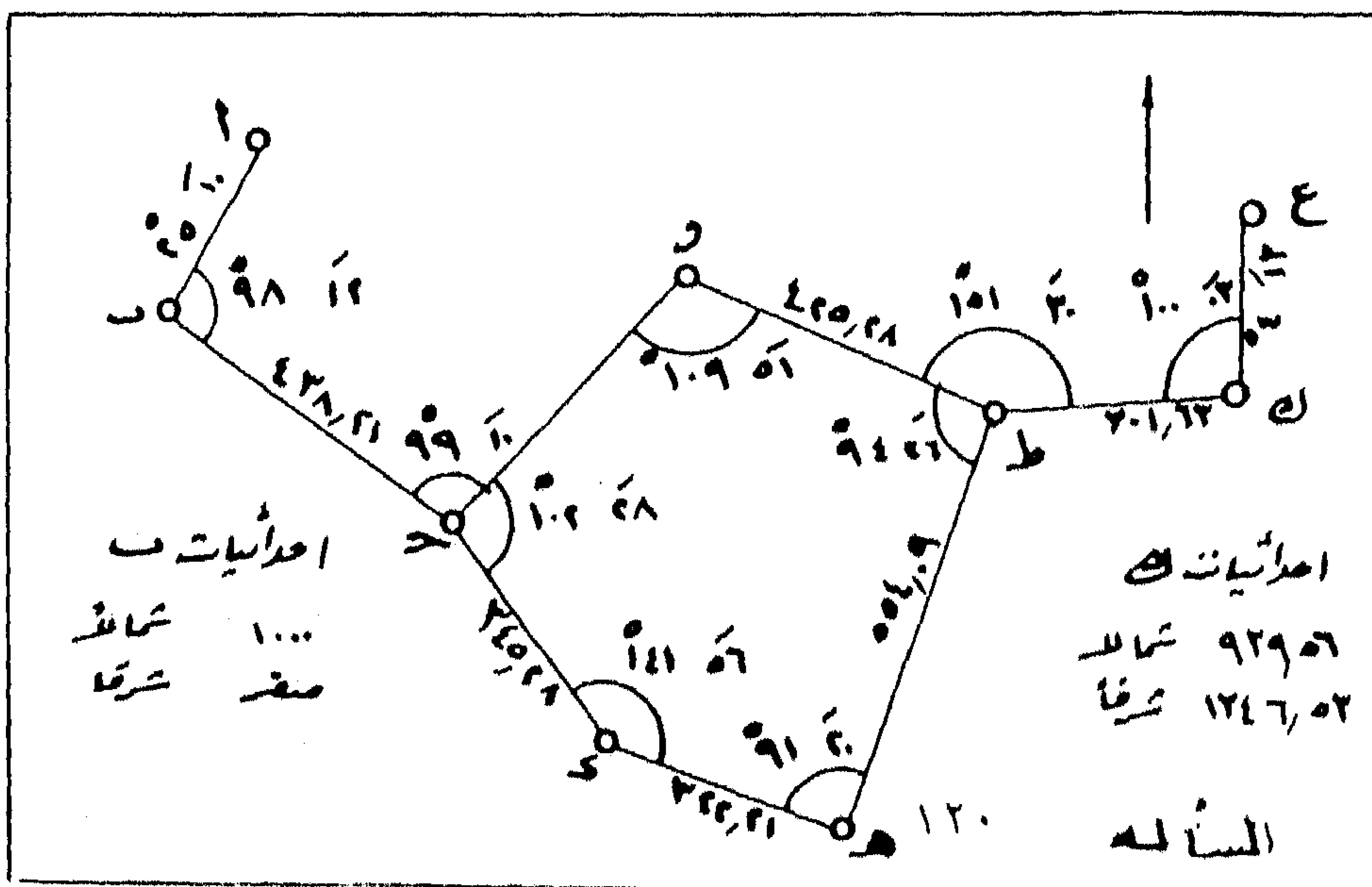
ثالثاً ـــ أوجد أقل مسافة رؤية للطريق إذا كان أرتفاع عين سائق عربة ٤ قدم ، وارتفاع عين سائق لورى ٦ قدم .

(خذ مسافة الرؤية كطول المماس من عين السائق إلى سطح الطريق) .

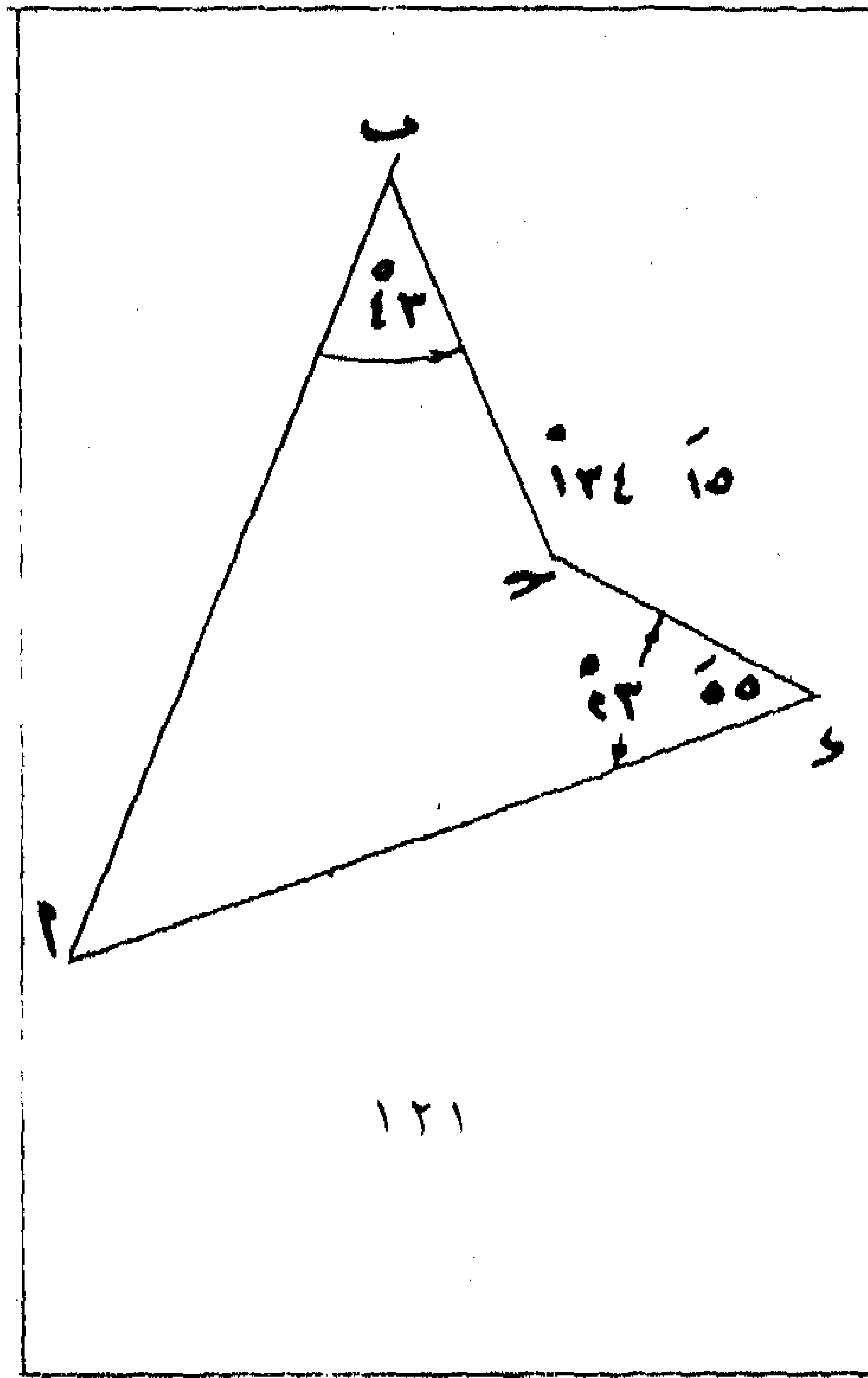
١٢٠ ـــ صحح شبكة الترافرسات المبينة بالشكل .

طول و حـ = ٤٢٦,٠٩ متر (غير مبين على الشكل) .

طول ك ط = ٣٠١,٦٣ متر .



١٢١ ــ ب ا ى حدود قطعة أرض سبق عمل ترافرس على حدودها وبعد التصحيح كان انحراف ا ب = ٤٠ َ ٢٢ ْ وانحراف ا ى = ٠٣ َ ١٠٠ ْ . يراد معرفة أحداثيات مصدر رى حـ فى داخل القطعة فأجرى الترافرس ب حـ ى وقيست الزوايا المبينة ، فإذا كانت أحداثيات ب هى ــ ١٠٠ ، رأسى ، ــ ٥٠ أفقى وأحداثيات ى = - ٣٥٠ رأسى ، + ١٤١ أفقى . ما هى أحداثيات نقطة حـ الصحيحة .



١٢٢ ــ مماس ا ب أنحرافه ٤٢ َ ١٣٣ ْ ، يراد تخطيط منحنى دائرى بنصف قطر قدره ٣٠٠٠ قدم وأوتار طول كل منها ١٠٠ قدم ليصل مماس آخر ب حـ انحرافه ١٨ َ ١٢٦ ْ . فإذا كان تدريج نقطة الابتداء على المنحنى هى ١٩٦٣٨ قدم . بين فى جدول الأنحرافات للأوتار من نقطة التماس الأولى إلى أقرب ٣٠ ً .

١٢٣ — تدريج نقطة ابتداء وانتهاء منحنى دائرى درجته ٥٢ هو ٣٢٠,٣٤ ، ٣٣٩,٧٥ . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زيدت زاوية التقاطع بإدارة المماس الثانى حول نقطة التقاطع خمس درجات . أوجد تدريج نقطة التماس الجديدة للمنحنى .

١٢٤ — منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيرا يصل بين مماسين الفرق بين انحرافيهما ٥١٨ . وجد أنه يراد تغيير التخطيط بأدخال جزء مستقيم طوله ٦ جنازير بين المماسين ويتوسط المسافة بينهما تماماً ثم إيصال هذا الجزء المستقيم بمنحنيين مع المماسين بنصف قطر واحد . فإذا كانت نقطة التماس الأصلية ستظل كما هى فى مكانها . أحسب نصف قطر المنحنيين المطلوب وأقصى بعد بين المنحنى الأصلى والمعدل .

١٢٥ — عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاما أن يمر بنقطة تبعد ٥٠ قدماً عن نقطة التقاطع وعلى بعدين متساويين من المماسين . تدريج نقطة التقاطع ٢٨٠,٨٠ وزاوية التقاطع ٥٢٨ . أحسب نصف قطر المنحنى وتدريج ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

١٢٦ — النقطة الأولى للتماس فى منحنى سكة حديد نصف قطر ٤٠ جنزير تقع فى المادة ولكن أمكن ايجاد تدريجها وهو ١٩٣٦,٤٤ جنزيراً . يراد وضع وتد عند التدريج ١٩٤١ بالرصد من نقطة ١٩٣٤ على المماس . أحسب لأقرب ٢٠″ الزاوية الواجب توقيعها من المماس والمسافة الواجب قياسها لتوقيع هذا الوتد .

١٢٧ — من نقطة ا المعلومة يراد تخطيط مماس ا ء لمنحنى دائرى موجود نصف قطره ٤٠ جنزيراً وهذا المنحنى هو ب ء حـ . أجرى الخط ا ب حـ ليقطع المنحنى بحيث أن ا ب = ١٠,٢٠ جنزيراً ، ب حـ = ٤,٣٢ . أحسب الزاوية ب ا ء ، طول القوس ب ء .

١٢٨ — منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً حيث ا ، ب هما نقطتا التماس والمماسين هما ا حـ ، ب حـ ، وزاوية تقاطعهما = ٢٨′ ٥١٩ . يراد تعديل التخطيط للمماس حـ ب إلى الوضع ء هـ ، حيث ء تقع على حـ ب ، وتبعد

بمقدار ١,٥٧ جنزير من ب ناحية حـ ، والزاوية حـ ء هـ على حـ ب البعيد من ا هى ١٦′ ٥١٧٧ . فإذا احتفظنا بمقدار نصف القطر الأصلى ، أوجد مسافة نقطة التماس الجديدة من ا ، ء على الترتيب .

١٢٩ ــ ا حـ ، حـ ب خطا سكة حديد يتقاطعان فى زاوية تقاطع قدرها ٢٦′ ٥١٢ . وصلا بمنحنى ا ب نصف قطره ٦٠ جنزيرا ، وتدريج نقطة الابتداء ا هو ٣٤٦,٢٧ . من ء على ا حـ التى تبعد بمقدار ٣,٠٤ جنزيرا من ا . يراد تخطيط مماس ء هـ للمنحنى . أحسب (١) الزاوية حـ ء هـ (٢) تدريج هـ (٣) المسافة من نقطة تقاطع امتداد ء هـ مع حـ ب ، ونقطة ب .

١٣٠ ــ من نقطة س التى احداثياتها ٨٤٦ متراً جنوباً ، ١٢٣٧٤ شرقاً خطط خط انحرافه ١٢′ ٥٤٩ ، ومن نقطة ص التى احداثياتها ١٠٢٦ جنوباً ، ١٥١٨٨ شرقاً خطط خط انحرافه ٣٦′ ٥٣٢٥ . أحسب احداثيات (ع) نقطة تقاطع هذه الخطين .

١٣١ ــ مثلث ا ب حـ مساحته ١٠ أفدنة ، فيه طول القاعدة ب حـ = ١٠٠ متر وانحرافها ٥٢٦٨ والحد حـ ا انحرافه ٥٢٣٧ . فإذا كانت احداثيات نقطة ب هى ــ ٨٢٤,٨٩ ، + ٤٥١,٥٤ فما طول وانحراف الحد ب ا واحداثيات نقطة ا .

١٣٢ ــ لايجاد عرض بحيرة ب هـ أجرى الترافرس ا ب حـ ء هـ و وقد وجد أخيراً أن ا ، ب ، هـ ، و على استقامة واحدة . فإذا كان إنحراف ا ب = ٥١٠٥ وطوله ٦٨ متراً ، وانحراف ب حـ = ٥٧٢ وطوله ٩٥ متراً ، وطول حـ ء = ٤٧ متراً وانحرافه ٥١١٥ ، أما ء هـ فلم يمكن قياسه وإنما معلوم أنه يتجه إلى الجنوب تماماً ، هـ و طوله ٥٠ متراً . أوجد طول ء هـ وعرض البحيرة .

١٣٣ ــ المطلوب طول الخط ب هـ وأنحراف الخط و هـ من المعلومات الآتية :

ا ب حـ ء مضلع فيه نقطة هـ تقع على ب حـ ، واحداثيات ب هى ٢٠٢ شرقا ، ٦٥٢ شمالاً ، واحداثيات حـ هى ٨٧١ شرقاً ، ٧١٠ شمالاً ، واحداثيات ء هى ٩٥٦ شرقا ، ١٤٧٥ شمالاً ، واحداثيات ا هى صفر شرقاً ، ١٠٠٠ شمالاً (حيث و نقطة على ا ء على بعد ٥٠٠ متر من ا) . فإذا كانت النقطة هـ هى مسقط العمود من و على ب حـ فأحسب طول كل من ب هـ ، هـ و مستعملا طريقة الترافرسات .

١٣٤ ـــ مبين فى الجدول التالى الأطوال والانحرافات لترافرس مقفل أجرى من ا إلى و ، وكل حرف يرمز إلى خط . فإذا كان طول ب وانحراف هـ لم يرصدا . وكان اتجاه الخط هـ ناحية الجنوب الغربى تقريباً . المطلوب حساب المقادير المجهولة (الأحداثيات إلى رقم عشرى واحد فقط) .

الخط	الطول (متر)	الانحراف
ا	٥٠٠,٠	ش
ب	؟	ش ٠٠ ′ ٤٥° ق
حـ	٨٥٤,٤	حـ ٢٧ ٦٩ ق
ء	١٠١٩,٨	حـ ١٠′ ١١ ق
هـ	١١١٨,٠	؟
و	٦٥٦,٨	ش ٠٦ ٥٤ غ

١٣٥ ـــ أوجد معدل الانحدار بين نقطتى ا ، ب من الأرصاد الآتية المأخوذة بتاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية والثابت التاكيومترى = ١٠٠ .

من الجهاز	الانحراف	قراءات الشعرات	الزاوية الرأسية
إلى ا	٣٤٥°	٠,٦٠٠ ، ١,١٤٨ ، ٠,٦٩٦ مترا	+ ١٥°
إلى ب	٧٥	٠,٥٠٠ ، ١,٤٧٠ ، ٢,٤٤٠ مترا	+ ١٠°

١٣٦ ـــ وضع تيودوليت فوق نقطتين ا ، ب على حافة بحيرة منسوبها ١٢٤٠ متراً فوق سطح البحر . وضعت قامة على تل عند نقطة حـ ورصدت ا ، ب من كل من النقطتين . الزاوية الرأسية من حـ كانت ١٤ ′ ١٥° وذلك عند النقطة ا والزاوية الأفقية حـ ا ب ، حـ ب ا كانت على التوالى ١٠ ٥٩°،

٤٨ ′ ٥٧١ طول الخط ا ب = ٨٢٠ مترا ، أوجد ارتفاع حـ فوق سطح البحر .

١٣٧ ــ منسوب وتد من أوتاد عملية مساحية = ٣٤,٦ قدماً ، وضع فوقه جهاز تاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابته التاكيومترى = ١٠٠ وكان خط النظر منسوبه ٤,٢ قدماً فوق منسوب الوتد . أخذت رصدة على قامة موضوعة رأسية فكانت زاوية الانخفاض ٤٥ ′ ٥٧ وقراءات الشعرات على القامة هى ٤,٥٠ ، ٧,٣٧ ، ١٠,٢٤ قدماً . تركت القامة فوق النقطة بينما نقل الجهاز إلى نقطة ب وأخذت منها رصدة إلى نقطة القامة وكانت زاوية الارتفاع فى هذه الحالة ٣٠ ′ ٥٩ وقراءات الشعرات ٣,٠٠ ، ٥,٥٦ ، ١٣ قدماً . أحسب منسوب نقطة ب إذا كان ارتفاع خط النظر فوق الوتد فى النقطة ٣,٦ قدماً .

١٣٨ ــ فى ترافرس أريد إيجاد المسافة بين النقطتين ا ، ب . ا كانت ظاهرة من إحدى نقط الترافرس س ، أما ب فكانت ظاهرة من نقطة أخرى ص أخذت أرصاد تاكيومترية من س ، ص على قامتين موضوعتين فوق ا ، ب وكانت الأرصاد كما يلى :

نقطة الترافرس	الأحداثيات ص	الأحداثيات س	نقطة القامة	الانحراف	الزاوية الرأسية	قراءة الشعرات
س	١٠٧٥,٦ ش	٢٨٤٣,٢ ق	ا	٤٢ ٥٣٣٦	٢٣ ٥١٨	٥,٠٠ ، ٧,١٢ ، ٩,٢٤ قدماً
ص	٨٣٩,٣ ش	٣٦٠٩,٥ ق	ب	٢٧ ٥١٢	١٦ ٥١٥	٦,٠٠ ، ٧,٩٥ ، ٩,٩١

الجهاز مزود بعدسة تحليلية والثابت التاكيومترى ١٠٠ . أحسب المسافة ا ب .

محتويات الكتاب

رقم الإيداع ٤٨٠٥ / ١٩٩٠
الترقيم الدولى 7 - 0021 - 03 - 977 ISBN

مركـز الدلتـا للطباعـة
٢٤ شارع الدلتا ــ اسبورتنج
تليفون ٥٩٥١٩٢٣

مجموعة مؤلفات المساحة

١ - المساحة المستوية

طـــرق الرفــع والتوقيــع

٢ - المساحة المستوية

الميزانيــات والكميــات

٣ - المساحة الطبوغرافية

وتطبيقاتها في الهندسة المدنية

٤ - المساحة التصويرية

القياس الالكتروني ونظرية الأخطاء

٥ - المساحة الجيوديسية